

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicants: Honjoh, et al.

Serial No. Not yet assigned Group Art Unit: Not yet assigned

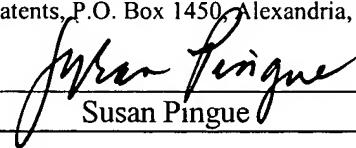
Filed: March 18, 2004 Examiner: Not yet assigned

Title: SEMICONDUCTOR DEVICE INCLUDING A PROTECTION CIRCUIT

EXPRESS MAIL NUMBER: EV 302280160 US

DATE OF DEPOSIT: March 18, 2004

I hereby certify that this paper is being deposited with the United States Postal Service "EXPRESS MAIL Post Office to Addressee" service under 37 CFR 1.10 on the date indicated above and is addressed to: Mail Stop Patent Application, Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.



Susan Pingue

* * *

REQUEST FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. 119
AND THE INTERNATIONAL CONVENTION

Mail Stop Patent Application
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NO.</u>	<u>MONTH/DAY/YEAR</u>
Japan	2003-378630	November 7, 2003

Attorney Docket No.: 2102475-992030

The certified copy of the corresponding Convention Application is enclosed.

Respectfully submitted,

GRAY CARY WARE & FREIDENRICH LLP

Dated: March 18, 2004

By *Edward B. Weller*
EDWARD B. WELLER
Reg. No. 37,468
Attorney for Applicant

GRAY CARY WARE & FREIDENRICH
2000 University Avenue
Palo Alto, CA 94303-2248
Telephone: (650) 833-2436
Facsimile: (650) 833-2001

0381252

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 Date of Application: 2003年11月 7日

出願番号 Application Number: 特願2003-378630

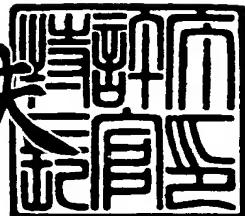
[ST. 10/C]: [JP2003-378630]

出願人 Applicant(s): 株式会社東芝

2004年 2月 24日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



出証番号 出証特2004-3012932

【書類名】 特許願
【整理番号】 A000304275
【提出日】 平成15年11月 7日
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】 H01L 23/56
【発明者】
 【住所又は居所】 神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝マイクロエレクトロニクスセンター内
【氏名】 本庄 敦
【発明者】
 【住所又は居所】 神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝マイクロエレクトロニクスセンター内
【氏名】 平岡 孝之
【特許出願人】
【識別番号】 000003078
【氏名又は名称】 株式会社 東芝
【代理人】
【識別番号】 100058479
【弁理士】
【氏名又は名称】 鈴江 武彦
【電話番号】 03-3502-3181
【選任した代理人】
【識別番号】 100091351
【弁理士】
【氏名又は名称】 河野 哲
【選任した代理人】
【識別番号】 100088683
【弁理士】
【氏名又は名称】 中村 誠
【選任した代理人】
【識別番号】 100108855
【弁理士】
【氏名又は名称】 蔵田 昌俊
【選任した代理人】
【識別番号】 100084618
【弁理士】
【氏名又は名称】 村松 貞男
【選任した代理人】
【識別番号】 100092196
【弁理士】
【氏名又は名称】 橋本 良郎
【手数料の表示】
【予納台帳番号】 011567
【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
【物件名】 特許請求の範囲 1
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1

【書類名】特許請求の範囲**【請求項 1】**

半導体集積回路を静電放電から保護するための保護回路を備えた半導体装置であって、前記保護回路が、

前記静電放電を検知する検知回路と、

前記検知回路の出力にもとづいてトリガー信号を生成するトリガー回路と、

前記半導体装置の第1の端子にエミッタが接続されたPNPトランジスタと、前記半導体装置の第2の端子にエミッタが接続され、前記PNPトランジスタのベースにコレクタが接続されたNPNトランジスタとを有し、前記トリガー回路からの前記トリガー信号により動作するサイリスタ部と、

前記PNPトランジスタおよび前記NPNトランジスタ間の接続を、前記検知回路の出力に応じて制御するスイッチング素子と

を具備して構成されていることを特徴とする半導体装置。

【請求項 2】

前記検知回路は、前記半導体装置の第1の端子と第2の端子との間に接続され、その中間端子より前記出力が取り出される、抵抗素子とMOS (Metal Oxide Semiconductor) キャパシタとからなることを特徴とする請求項1に記載の半導体装置。

【請求項 3】

前記トリガー回路は、前記半導体装置の第1の端子にソースが接続された第1のMOS (Metal Oxide Semiconductor) トランジスタと、前記半導体装置の第2の端子にソースが接続され、前記第1のMOSトランジスタとドレインが共通接続された第2のMOSトランジスタとから構成され、各ゲートには前記検知回路からの出力が入力されるインバータ回路であり、前記共通接続されたドレインから前記トリガー信号を前記NPNトランジスタのベースに供給することを特徴とする請求項1に記載の半導体装置。

【請求項 4】

前記トリガー回路は、前記半導体装置の第1の端子にソースが接続された第1のMOS (Metal Oxide Semiconductor) トランジスタと、前記半導体装置の第2の端子にソースが接続され、前記第1のMOSトランジスタとドレインが共通接続された第2のMOSトランジスタとから構成され、各ゲートには前記検知回路からの出力が入力される第1のインバータ回路と、前記半導体装置の第1の端子にソースが接続された第3のMOSトランジスタと、前記半導体装置の第2の端子にソースが接続され、前記第3のMOSトランジスタとドレインが共通接続された第4のMOSトランジスタとから構成され、各ゲートには前記第1のインバータ回路における共通接続されたドレインからの出力が入力される第2のインバータ回路とを備え、

前記第2のインバータ回路における共通接続されたドレインから前記トリガー信号を前記NPNトランジスタのベースに供給することを特徴とする請求項1に記載の半導体装置。

【請求項 5】

前記トリガー回路は、前記半導体装置の第1の端子にソースが接続された第1のMOS (Metal Oxide Semiconductor) トランジスタと、前記半導体装置の第2の端子にソースが接続され、前記第1のMOSトランジスタとドレインが共通接続された第2のMOSトランジスタとから構成され、各ゲートには前記検知回路からの出力が入力される第1のインバータ回路と、前記半導体装置の第1の端子にソースが接続された第3のMOSトランジスタと、前記半導体装置の第2の端子にソースが接続され、前記第3のMOSトランジスタとドレインが共通接続された第4のMOSトランジスタとから構成され、各ゲートには前記第1のインバータ回路における共通接続されたドレインからの出力が入力される第2のインバータ回路とを備え、

前記第2のインバータ回路における共通接続されたドレインから前記トリガー信号を前

記NPNトランジスタのベースに供給することを特徴とする請求項1に記載の半導体装置
。

【請求項6】

前記トリガー回路は、前記半導体装置の第1の端子にソースが接続された第1のMOS (Metal Oxide Semiconductor)トランジスタと、前記半導体装置の第2の端子にソースが接続され、前記第1のMOSトランジスタとドレインが共通接続された第2のMOSトランジスタとから構成され、各ゲートには前記検知回路からの出力が入力されるインバータ回路であり、前記共通接続されたドレインから前記トリガー信号を前記PNPトランジスタのベースに供給することを特徴とする請求項1に記載の半導体装置。

【書類名】明細書

【発明の名称】半導体装置

【技術分野】

【0001】

本発明は、保護回路を備えた半導体装置に関するもので、特に、半導体集積回路を静電放電（Electrostatic Discharge (ESD)）から保護するACトリガー切断型サイリスタが設けられた集積回路装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

通常、集積回路装置には、同一基板上に、半導体集積回路を静電放電から保護する静電放電保護回路（以下、ESD保護回路と略記する）が設けられている（たとえば、非特許文献1参照）。

【0003】

図9は、従来の、ESD保護回路が設けられた集積回路装置の基本構成を示すものである。図9に示すように、電源端子（電源PAD）11およびグランド端子（GND-PAD）12の相互間には、保護対象となる半導体集積回路（被保護素子）20が接続されている。また、上記電源PAD11と上記GND-PAD12との間には、この半導体集積回路20と並列に、ESD保護回路30および保護ダイオード40が接続されている。また、上記半導体集積回路20と上記ESD保護回路30との間には、それぞれ、電源配線抵抗R1およびグランド配線抵抗R2が挿入されている。

【0004】

上記GND-PAD12を基準に、上記電源PAD11と上記GND-PAD12との間に供給された正のESDサージ電流は、上記ESD保護回路30によって放電される。また、負のESDサージ電流は、上記保護ダイオード40によって放電される。

【0005】

図10は、上記した従来のESD保護回路30の構成例を示すものである。このESD保護回路30は、CR積分回路31、トリガーリング32、および、サイリスタ33を有して構成されている。

【0006】

上記CR積分回路31において、抵抗素子（R）31aは、たとえばP型半導体基板（33-1）上に形成された $1\text{M}\Omega$ の抵抗値を有するN-well抵抗である。容量素子（C）31bは、たとえば6pFの容量値を有するMOS（Metal Oxide Semiconductor）キャパシタである。この2素子31a, 31bからなる上記CR積分回路31の一端、たとえば上記抵抗素子31aの一端は、上記電源PAD11に接続されている。上記抵抗素子31aの他端は、上記容量素子31bの一端（一方の電極）に接続されている。上記CR積分回路31の他端、たとえば上記容量素子31bの他端（他方の電極）は、上記GND-PAD12に接続されている。そして、上記抵抗素子31aと上記容量素子31bとの接続点である上記CR積分回路31の出力端（中間端子）は、上記トリガーリング32の入力端に接続されている。

【0007】

上記トリガーリング32は、たとえば、PチャネルMOS（PMOS）トランジスタ32aとNチャネルMOS（NMOS）トランジスタ32bとからなるCMOS（Complementary MOS）インバータ回路によって構成されている。このトリガーリング32の、上記PMOSトランジスタ32aのソースは、上記電源PAD11に接続されている。上記NMOSトランジスタ32bのソースは、上記GND-PAD12に接続されている。また、上記PMOSトランジスタ32aおよび上記NMOSトランジスタ32bの各ゲート電極（入力端）には、上記CR積分回路31の出力端が接続されている。そして、上記PMOSトランジスタ32aおよび上記NMOSトランジスタ32bの各ドレン電極が共通に接続された、上記トリガーリング32の出力端は、上記サイリスタ33に接続されている。

【0008】

なお、上記PMOSトランジスタ32aは、たとえば、ゲート幅(W)が $40\mu\text{m}$ 、ゲート長(L)が $0.2\mu\text{m}$ 、ゲート酸化膜の膜厚(T_{ox})が 3nm 、しきい値電圧(V_{th})が -0.4V とされている。一方、上記NMOSトランジスタ32bは、たとえば、ゲート幅(W)が $20\mu\text{m}$ 、ゲート長(L)が $0.2\mu\text{m}$ 、ゲート酸化膜の膜厚(T_{ox})が 3nm 、しきい値電圧(V_{th})が 0.4V とされている。

【0009】

上記サイリスタ33は、たとえば、PNPトランジスタ33a、NPNトランジスタ33b、および、抵抗素子33cによって構成されている。上記サイリスタ33において、上記トリガー回路32の出力端は、上記PNPトランジスタ33aのコレクタ、上記NPNトランジスタ33bのベース、および、上記抵抗素子33cの一端に接続されている。上記PNPトランジスタ33aのエミッタは上記電源PAD11に接続され、ベースは上記NPNトランジスタ33bのコレクタに接続されている。上記NPNトランジスタ33bのエミッタおよび上記抵抗素子33cの他端は、それぞれ、上記GND-PAD12に接続されている。

【0010】

図11は、上記したサイリスタ33の実際の素子構造を示すものである。たとえば、P型半導体基板33-1の表面部には、ピーク濃度が $3.5 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 、接合深さ(X_j)が $1.5\mu\text{m}$ とされたN-well領域33-2、および、ピーク濃度が $6.0 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 、不純物濃度が上記P型半導体基板33-1と同程度になる深さ(X_j)が $1.5\mu\text{m}$ とされたP-well領域33-3が隣接して形成されている。また、上記P型半導体基板33-1の表面部には、STI(Shallow Trench Isolation)構造の、複数の素子分離用の絶縁領域33-4が選択的に形成されている。

【0011】

また、上記絶縁領域33-4の形成位置を除く、上記N-well領域33-2の表面部には、たとえば、ピーク濃度が $1 \times 10^{20}\text{cm}^{-3}$ 、接合深さ(X_j)が $0.18\mu\text{m}$ とされたP⁺層33-5が、また、上記P-well領域33-3の表面部には、たとえば、ピーク濃度が $1 \times 10^{20}\text{cm}^{-3}$ 、接合深さ(X_j)が $0.18\mu\text{m}$ とされたN⁺層33-6およびP⁺層33-7が形成されている。また、上記P型半導体基板33-1の、上記N-well領域33-2および上記P-well領域33-3の非形成領域には、たとえば、ピーク濃度が $1 \times 10^{20}\text{cm}^{-3}$ 、不純物濃度が上記P型半導体基板33-1と同程度になる深さ(X_j)が $0.18\mu\text{m}$ とされたP⁺層33-8が形成されている。

【0012】

このサイリスタ33の場合、上記P⁺層33-5、上記N-well領域33-2、上記P-well領域33-3が、それぞれ、図10に示したPNPトランジスタ33aの、エミッタ、ベース、コレクタとなる。図中のL_nはベース長であり、この例の場合、約 $0.4\mu\text{m}$ となっている。また、上記P⁺層33-5は、上記した電源PAD11と接続されている。

【0013】

同様に、上記N-well領域33-2、上記P-well領域33-3、上記N⁺層33-6が、それぞれ、図10に示したNPNトランジスタ33bの、コレクタ、ベース、エミッタとなる。図中のL_pはベース長であり、この例の場合、約 $0.4\mu\text{m}$ となっている。また、上記N⁺層33-6は、上記したGND-PAD12と接続されるとともに、図10に示した抵抗素子33cに相当する $5\text{K}\Omega$ のN-well抵抗を介して、上記P⁺層33-7および上記トリガー回路32の出力端に接続されている。

【0014】

この図からも明らかなように、上記P⁺層33-7は、上記P-well領域33-3および上記P型半導体基板33-1を介して、上記GND-PAD12に接続された上記P⁺層33-8に接続されている。ところが、この接続抵抗の大部分を占める上記P型半導体基板33-1の抵抗値は、製造プロセスによるばらつきが大きい。このP型半導体基板33

$-_1$ の抵抗値を安定させるために、上記抵抗素子33cが配置されている。また、高濃度拡散層である上記P⁺層33-5、上記P⁺層33-7、上記P⁺層33-8および上記N⁺層33-6の幅は約1μm、長さ（紙面奥行き方向の寸法）は約80μmである。

【0015】

図10に示したように、上記サイリスタ33には、2本の電流経路が記述されている。つまり、上記PNPトランジスタ33aのベースから上記NPNトランジスタ33bのコレクタに至る第1の経路と、上記PNPトランジスタ33aのコレクタから上記NPNトランジスタ33bのベースに至る第2の経路とが記されている。しかしながら、上記第1、第2の経路は、実際には、たとえば図11に示したように、上記N-well領域33-2から上記P-well領域33-3に至る1つの経路であり、上記第1、第2の経路のいずれか一方に素子を挿入したりすることはできない。

【0016】

以下に、図10を参照して、上記した構成のESD保護回路30の動作について説明する。まず、ESDサージ電圧が印加された際の動作（保護動作）について説明する。たとえば、上記電源PAD11および上記GND-PAD12間に、正のESDサージ電圧が印加されたとする。すると、上記トリガー回路32および上記サイリスタ33は、上記電源PAD11からの電圧（Vdd）の供給によって動作状態となる。上記CR積分回路31の出力（中間ノード）は、上記容量素子31bの働きによってGND電位（0V）に保持される。これにより、上記トリガー回路32のPMOSトランジスタ32aが導通状態となって、上記サイリスタ33のNPNトランジスタ33bのベースーエミッタ接合部に、上記電源PAD11からの電流が流入される。その結果、上記NPNトランジスタ33bがオン状態になる。すなわち、上記NPNトランジスタ33bにコレクタ電流が流れること。

【0017】

このコレクタ電流によって、上記PNPトランジスタ33aのベースに電流が流れ、上記PNPトランジスタ33aはオン状態になる。このPNPトランジスタ33aのコレクタ電流は、上記NPNトランジスタ33bのベース電流を供給する。これにより、ポジティブなフィードバックループが形成される。そのため、上記サイリスタ33はスナップバックを起こし、上記電源PAD11から上記GND-PAD12に向かって大電流を流すことが可能な低インピーダンス状態になる。したがって、ESDサージ電流は、上記電源PAD11からの電圧を上昇させることなく放電され、上記半導体集積回路20を破壊することはない。

【0018】

次に、通常動作（非保護動作）時の、上記ESD保護回路30の動作について説明する。上記電源PAD11からの電圧（Vdd）に変化のない状態では、上記CR積分回路31の中間ノードは、上記抵抗素子31aの働きによって電圧Vddになる。そのため、上記トリガー回路32の出力はGND電位（0V）となる。したがって、上記NPNトランジスタ33bはオフとなる。この場合、上記PNPトランジスタ33aのベース電流が供給されないため、上記PNPトランジスタ33aにも電流は流れない。すなわち、上記サイリスタ33はカットオフした状態となる。

【0019】

図12は、上記した従来のESD保護回路30の、大電流領域のI-V特性を示すものである。縦軸のIesdは、上記電源PAD11からの流入が想定される、ESDサージ電流の最大電流値である。

【0020】

このESD保護回路30により上記半導体集積回路20をESDから保護するということは、上記半導体集積回路20におけるゲート酸化膜がESDによって破壊される防ぐことである。そのためには、上記電源PAD11からの電流Iが上記最大電流値Iesdよりも小さい範囲で、かつ、電圧Vが酸化膜破壊電圧BVoxを超えてはならない（Vc1amp < BVox）。また、通常動作時にウェルの誘導などによりサイリスタ33がラッ

チアップするのを抑えるためには、スナップバック後の電圧の極小値 V_h が最大保証電源電圧 $V_{dd\max}$ (通常は、 $1.1 * V_{dd}$) よりも大きくなければならない ($V_h > V_{dd\max}$)。これにより、スナップバック後の導通状態時のオン抵抗 (要求抵抗値) R_{on} は、以下の式で与えられる。

【0021】

$$R_{on} = (V_{clamp} - V_h) / (I_{esd} - I_h)$$

ただし、上記 I_h はスナップバック後の電流の極小値である。一般に、 $I_{esd} \gg I_h$ であるから、

$$R_{on} = (V_{clamp} - V_h) / I_{esd} \dots (1)$$

となる。

【0022】

また、

$$V_{clamp} < BV_{ox} \dots (2)$$

$$V_h > V_{dd\max} \dots (3)$$

である。

【0023】

上記式 (1), (2), (3) より、

$$R_{on} < (BV_{ox} - V_{dd\max}) / I_{esd}$$

となる。

【0024】

簡略化のため、最大電流値 I_{esd} が 2.7 A であるような、マンーマシンモデルでの放電波形の最大電流値を I_{esd} の例として考える。なお、酸化膜厚が 12 オングストローム程度の微細な CMOS デバイスでは、酸化膜破壊電圧 BV_{ox} はパルス破壊に対して 4 V 程度である。

【0025】

つまり、 $V_{dd\max} = 1.2 V$ とすると、

$$R_{on} < (4V - 1.2V) / 2.7A = 1.0 \Omega$$

となる。

【0026】

これを実現するために、従来の ESD 保護回路 30 においては、たとえば図 1-1 に示したように、素子の幅 (高濃度拡散層の長さ) が $80 \mu m$ と巨大になっている。MOS 集積回路の微細化とともに、電源電圧は低下し、酸化膜厚は薄くなる。その結果、この要求抵抗値 (R_{on}) はゲート酸化膜の薄膜化とともに低下する。このため、所定の要求抵抗値 (R_{on}) を実現するには、ESD 保護回路 30 がますます巨大化する。しかも、たとえば図 9 に示したように、上記半導体集積回路 20 と上記 ESD 保護回路 30 との間に上記配線抵抗 R_1 , R_2 が挿入されている場合、上記半導体集積回路 20 の両端の電圧はさらに上昇する。

【0027】

その際の酸化膜保護の条件は、

$$V_{clamp} + I_{esd} * (R_1 + R_2) < BV_{ox}$$

となる。

【0028】

すなわち、

$$V_{clamp} < BV_{ox} - I_{esd} * (R_1 + R_2) \dots (4)$$

となる。

【0029】

この場合は、

$$R_{on} + R_1 + R_2 < (BV_{ox} - V_{dd\max}) / I_{esd}$$

となる。

【0030】

つまり、配線抵抗R1, R2を考慮した場合、さらに、要求抵抗値(R_{on})を小さくしなければならないため、ESD保護回路30は巨大化する。あるいは、配線抵抗R1, R2をより小さな値とするためには、上記電源PAD11および上記GND-PAD12の間に多数のESD保護回路30を挿入しなければならない。

【非特許文献1】 Christian C. Russ et al., "GGSCR : GGNMOS Triggered Silicon Controlled Rectifiers for ESD Protection in Deep Sub-Micron CMOS Processes", ELECTRICAL OVERSTRESS/ELECTROSTATIC DISCHARGE SYM POSIUM PROCEEDINGS 2001 (23th).

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0031】

上記したように、従来においては、ゲート酸化膜の薄膜化や配線抵抗に応じて要求抵抗値(R_{on})を小さくしなければならないため、ESD保護回路が巨大化するという不具合があった。

【0032】

本発明は、上記の課題を解決するためになされたものであって、その目的とするところは、ゲート酸化膜の薄膜化や配線抵抗に応じて要求抵抗値を十分に小さくできるとともに、半導体装置に占める面積を削減することが可能な保護回路を備えた半導体装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0033】

本願発明の一態様によれば、半導体集積回路を静電放電から保護するための保護回路を備えた半導体装置であって、前記保護回路が、前記静電放電を検知する検知回路と、前記検知回路の出力にもとづいてトリガー信号を生成するトリガー回路と、前記半導体装置の第1の端子にエミッタが接続されたPNPトランジスタと、前記半導体装置の第2の端子にエミッタが接続され、前記PNPトランジスタのベースにコレクタが接続されたNPNトランジスタとを有し、前記トリガー回路からの前記トリガー信号により動作するサイリスタ部と、前記PNPトランジスタおよび前記NPNトランジスタ間の接続を、前記検知回路の出力に応じて制御するスイッチング素子とを具備して構成されていることを特徴とする半導体装置が提供される。

【0034】

上記した構成とした場合、通常動作時にはサイリスタがラッチアップする経路(フィードバックループ)を遮断できるようになる。これにより、保護回路に対する設計の制約を緩和でき、保護回路における素子の幅や端子間に挿入する保護回路の個数を減少させることができるとなるものである。

【発明の効果】

【0035】

この発明によれば、通常動作時における、スナップバック後の電圧の極小値 V_h が最大保証電源電圧 V_{ddmax} よりも大きくなればならないというサイリスタの設計上の制約を無視することができる結果、ゲート酸化膜の薄膜化や配線抵抗に応じて要求抵抗値を十分に小さくできるとともに、半導体装置に占める面積を削減することが可能な保護回路を備えた半導体装置を提供できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0036】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。

【0037】

[第1の実施形態]

図1は、この発明の第1の実施形態にしたがつた、ESD(Electrostatic Discharge)

c Discharge) 保護回路の構成例を示すものである。ここでは、同一基板上に保護対象となる半導体集積回路（たとえば、MOS（Metal Oxide Semiconductor）集積回路）とともに集積化されて、上記半導体集積回路のゲート酸化膜を保護する保護回路として用いられる、ACトリガー切断型サイリスタを例に説明する。なお、図10と同一部分には同一符号を付し、詳しい説明は割愛する。

【0038】

この第1の実施形態は、たとえば図1に示すように、CR積分回路31の出力により制御されるPMOSトランジスタ33dによって、通常動作時には、サイリスタ部33AのPNPトランジスタ33aのコレクタとNPNトランジスタ33bのベースとを結ぶ第1の電流経路を電気的に遮断するようにしたのである。

【0039】

すなわち、このESD保護回路30Aは、たとえば図9に示したように、電源PAD（第1の端子）11とGND-PAD（第2の端子）12との間に、半導体集積回路20と並列に接続されている。上記ESD保護回路30Aは、たとえば図1に示すように、CR積分回路（検知回路）31、トリガーリング回路32、および、サイリスタ部33Aを有して構成されている。

【0040】

上記CR積分回路31は、上記電源PAD11と上記GND-PAD12との間に、抵抗素子（R）31aと容量素子（C）31bとが直列に接続された構成とされている。上記抵抗素子31aは、たとえばP型半導体基板（33-11）上に形成された1MΩの抵抗値を有するN-well抵抗である。上記容量素子31bは、たとえば6pFの容量値を有するMOSキャパシタである。そして、上記抵抗素子31aと上記容量素子31bとの接続点である、上記CR積分回路31の出力端（中間端子）は、上記トリガーリング回路32の入力端、および、後述するスイッチング素子に接続されている。

【0041】

上記トリガーリング回路32は、たとえば、PチャネルMOS（PMOS）トランジスタ32aとNチャネルMOS（NMOS）トランジスタ32bとからなるCMOS（Complementary MOS）インバータによって構成されている。このCMOSインバータの各電極、つまり、上記PMOSトランジスタ32aのソースおよび上記NMOSトランジスタ32bのソースは、それぞれ、上記電源PAD11と上記GND-PAD12とに接続されている。また、上記PMOSトランジスタ32aおよび上記NMOSトランジスタ32bの各ゲート電極（入力端）には、上記CR積分回路31の出力端が接続されている。そして、上記PMOSトランジスタ32aおよび上記NMOSトランジスタ32bの各ドレインが共通に接続された、上記トリガーリング回路32の出力端は、上記サイリスタ部33Aに接続されている。

【0042】

上記サイリスタ部33Aは、たとえば、PNPトランジスタ33a、NPNトランジスタ33b、抵抗素子33c、および、上記スイッチング素子としてのPMOSトランジスタ33dを有して構成されている。上記PNPトランジスタ33aのエミッタは上記電源PAD11に接続され、ベースは上記NPNトランジスタ33bのコレクタに接続されている（第2の接続配線）。上記PNPトランジスタ33aのコレクタは、上記PMOSトランジスタ33dのソースに接続されている。上記PMOSトランジスタ33dのゲート電極には、上記CR積分回路31の出力端が接続されている。上記PMOSトランジスタ33dのドレイン、上記NPNトランジスタ33bのベース、および、上記抵抗素子33cの一端には、上記トリガーリング回路32の出力端が接続されている。また、上記NPNトランジスタ33bのエミッタおよび上記抵抗素子33cの他端は、それぞれ、上記GND-PAD12に接続されている。

【0043】

すなわち、上記サイリスタ部33Aにおいて、上記PMOSトランジスタ33dは、上記PNPトランジスタ33aのコレクタと上記NPNトランジスタ33bのベースとを結

ぶ、第1の接続配線（第1の電流経路）に挿入されている。なお、上記PMOSトランジスタ33dは、たとえば、ゲート幅（W）が $80\mu\text{m}$ 、ゲート長（L）が $0.15\mu\text{m}$ 、ゲート酸化膜の膜厚（ T_{ox} ）が 2nm 、しきい値電圧（ V_{th} ）が -0.2V とされている。

【0044】

図2は、図1に示したサイリスタ部33Aの実際の素子構造を示すものである。たとえば、P型半導体基板33-11の表面部には、ピーク濃度が $3.5 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 、接合深さ（ X_j ）が $1.5\mu\text{m}$ とされたN-well領域33-12、および、ピーク濃度が $6.0 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 、接合深さ（ X_j ）が $1.5\mu\text{m}$ とされたP-well領域33-13が隣接して形成されている。また、上記P型半導体基板33-11の表面部には、STI（Shallow Trench Isolation）構造の、複数の素子分離用の絶縁領域33-14が選択的に形成されている。

【0045】

また、上記絶縁領域33-14の形成位置を除く、上記N-well領域33-12の表面部には、たとえば、ピーク濃度が $1 \times 10^{20}\text{cm}^{-3}$ 、接合深さ（ X_j ）が $0.18\mu\text{m}$ とされたP⁺層33-15、P⁺層33-16、P⁺層33-17およびN⁺層33-18が、ほぼ一定の間隔を有して形成されている。上記P⁺層33-15、上記P⁺層33-16の相互間を除く、上記P⁺層33-16、上記P⁺層33-17および上記N⁺層33-18の相互間には、それぞれ、上記絶縁領域33-14が配置されている。上記P⁺層33-15、上記P⁺層33-16の相互間に対応する、上記N-well領域33-12の表面上には、たとえば、20オングストローム程度の厚さを有するゲート酸化膜（熱酸化膜）33-19を介して、P型の多結晶シリコンからなるゲート電極33-20が形成されている。一方、上記絶縁領域33-14の形成位置を除く、上記P-well領域33-13の表面部には、たとえば、ピーク濃度が $1 \times 10^{20}\text{cm}^{-3}$ 、接合深さ（ X_j ）が $0.18\mu\text{m}$ とされたN⁺層33-21、N⁺層33-22およびP⁺層33-23が形成されている。上記N⁺層33-18、上記N⁺層33-21、上記N⁺層33-22および上記P⁺層33-23の相互間には、それぞれ、上記絶縁領域33-14が配置されている。

【0046】

このサイリスタ部33Aの場合、上記P⁺層33-15、上記P⁺層33-16および上記ゲート電極33-20が、それぞれ、図1に示したPMOSトランジスタ33dのドレイン、ソースおよびゲートとなる。このPMOSトランジスタ33dのドレイン、つまり、上記P⁺層33-15は上記トリガー回路32の出力端に接続されている。上記PMOSトランジスタ33dのゲート、つまり、上記ゲート電極33-20は上記CR積分回路31の出力端に接続されている。また、上記P⁺層33-16、上記N-well領域33-12、上記P⁺層33-17が、それぞれ、図1に示した上記PNPトランジスタ33aのコレクタ、ベース、エミッタとなる。図中のL_nはベース長であり、この例の場合、約 $0.2\mu\text{m}$ となっている。また、上記P⁺層33-17は、上記した電源PAD11に接続されている。さらに、上記N⁺層33-18は、上記N-well領域33-12からベース電流を取り出すためのものであり、上記N⁺層33-22に接続されている。

【0047】

同様に、上記N⁺層33-21、上記P-well領域33-13、上記N⁺層33-22が、それぞれ、図1に示したNPNトランジスタ33bのエミッタ、ベース、コレクタとなる。図中のL_pはベース長であり、この例の場合、約 $0.2\mu\text{m}$ となっている。また、上記N⁺層33-21は、上記したGND-PAD12と接続されるとともに、図1に示した抵抗素子33cに相当する $5\text{K}\Omega$ のN-well抵抗を介して、上記P-well領域33-13からベース電流を取り出すための上記P⁺層33-23、および、上記トリガーリード32の出力端に接続されている。

【0048】

なお、上記P型半導体基板33-11の、上記N-well領域33-12および上記P-well領域33-13の非形成領域には、P⁺層（図示していない）が形成されている

。このP⁺層は、上記GND-PAD12に接続されている。また、このサイリスタ部33Aの場合、寄生トランジスタの動作を回避するために、L_n << L_{n2}、L_p << L_{p2}の関係を満足するように設計されている。さらに、高濃度拡散層である上記P⁺層33-15、上記P⁺層33-16、上記P⁺層33-17、上記P⁺層33-23および上記N⁺層33-18、上記N⁺層33-21、上記N⁺層33-22の幅は約1μm、長さ（紙面奥行き方向の寸法）は約55μmである。

【0049】

この図からも明らかなように、上記サイリスタ部33Aは、上記PNPトランジスタ33aのコレクタから上記NPNトランジスタ33bのベースに至る第1の経路（第1の接続配線）と、これとは別の、上記PNPトランジスタ33aのベースから上記NPNトランジスタ33bのコレクタに至る第2の経路（第2の接続配線）とを有し、上記第1の経路に上記スイッチング用のPMOSトランジスタ33dが挿入されている。一般に、NPNトランジスタは、PNPトランジスタよりもHFE（バイポーラトランジスタの順方向電流増幅率）の大きいものが実現できる。よって、第1の経路にスイッチング素子を挿入した方が、サイリスタのオンしている時の電流量が小さくて済むため、小さなスイッチング素子でオン・オフが制御できるので、有利である。

【0050】

以下に、図1を参照して、上記した構成のESD保護回路30Aの動作について説明する。まず、ESDサージ電圧が印加された際の動作（保護動作）について説明する。たとえば、上記電源PAD11および上記GND-PAD12間に、正のESDサージ電圧が印加されたとする。すると、上記トリガー回路32および上記サイリスタ部33Aは、上記電源PAD11からの電圧（Vdd）の供給によって動作状態となる。上記CR積分回路31の出力（中間ノード）は、上記容量素子31bの働きによってGND電位（0V）に保持される。これにより、上記PMOSトランジスタ33dのゲート電圧がGND電位となって、上記PMOSトランジスタ33dがオンする。その結果、従来例と同様のメカニズムによって、ポジティブなフィードバックループが形成される。

【0051】

つまり、上記トリガー回路32のPMOSトランジスタ32aが導通状態となって、上記サイリスタ部33AのNPNトランジスタ33bのベースーエミッタ接合部に、上記GND-PAD12からの電流が流入される。その結果、上記NPNトランジスタ33bがオン状態になる。すなわち、上記NPNトランジスタ33bにコレクタ電流が流れる。このコレクタ電流によって、上記PNPトランジスタ33aのベースに電流が流れ、上記PNPトランジスタ33aはオン状態になる。このPNPトランジスタ33aのコレクタ電流は、上記NPNトランジスタ33bのベース電流を供給する。これにより、ポジティブなフィードバックループが形成される。そのため、上記サイリスタ部33Aがスナップバックを起こし、上記電源PAD11から上記GND-PAD12に向かって大電流を流すことが可能な低インピーダンス状態になる。したがって、ESDサージ電流は、上記電源PAD11からの電圧（Vdd）を上昇することなく放電され、上記半導体集積回路20を破壊することはない。

【0052】

次に、通常動作（非保護動作）時の、上記ESD保護回路30Aの動作について説明する。上記電源PAD11からの電圧（Vdd）に変化のない状態では、上記CR積分回路31の中間ノードは、上記抵抗素子31aの働きによってVdd電位になる。そのため、上記トリガー回路32の出力はGND電位（0V）となる。したがって、上記NPNトランジスタ33bはオフとなる。この場合、上記PNPトランジスタ33aのベース電流が供給されないため、上記PNPトランジスタ33aにも電流は流れない。さらに、上記PMOSトランジスタ33dがオフのままとなるため、スナップバックを起こすためのフィードバックループが遮断される。すなわち、上記サイリスタ部33Aはカットオフした状態となる。

【0053】

図3は、上記した構成のESD保護回路30Aの、大電流領域のI-V特性を示すものである。このESD保護回路30Aにより、上記半導体集積回路20のゲート酸化膜がESDによって破壊されるのを防ぐためには、上記電源PAD11からの電流IがESDサージ電流の最大電流値I_{esd}よりも小さい範囲で、かつ、電圧Vが酸化膜破壊電圧B_{Vox}を超えてはならない($V_{clamp} < V_{Box}$)。この条件は、従来例の場合と同様である。

【0054】

上記PMOSトランジスタ33dは、ゲートが上記抵抗素子31aを介して、上記電源PAD11に接続されているため、定常状態ではオンしない。したがって、通常動作時にウェルの誘導などが存在したとしても、上記サイリスタ部33Aはラッチアップしない。つまり、スナップバック後の電圧の極小値V_hが最大保証電源電圧V_{ddmax}よりも大きくなければならない($V_h > V_{ddmax}$)という制約は必要ない。これにより、スナップバック後の導通状態時のオン抵抗(要求抵抗値)R_{on}は、以下の式で与えられる。

【0055】

$$R_{on} = (V_{clamp} - V_h) / (I_{esd} - I_h)$$

ただし、上記I_hはスナップバック後に電圧が極小となる点(V_h)での電流値である。一般に、 $I_{esd} \gg I_h$ であるから、

$$R_{on} = (V_{clamp} - V_h) / I_{esd} \dots (1)$$

となる。

【0056】

また、

$$V_{clamp} < B_{Vox} \dots (2)$$

である。

【0057】

上記式(1), (2)より、

$$R_{on} < (B_{Vox} - V_h) / I_{esd}$$

となる。

【0058】

上記ベース長L_n, L_pを0.2μmと小さくしたため、上記PNPトランジスタ33aおよび上記NPNトランジスタ33bのHFEは充分に高く、スナップバック後の電圧の極小値V_hは0.4Vと、酸化膜破壊電圧B_{Vox}に対して無視できる程度の値となつた。

【0059】

すなわち、スナップバック後の導通状態時のオン抵抗R_{on}は、

$$R_{on} = B_{Vox} / I_{esd}$$

となる。

【0060】

上述したように、ESDサージ電流の最大電流値I_{esd}を2.7A、酸化膜破壊電圧B_{Vox}を4Vとすると、

$$R_{on} = 4V / 2.7A = 1.5\Omega$$

となる。

【0061】

このため、従来例に比べ、素子の幅は55μmと、約1/1.5に縮小された。この効果は、上述の図9に示した電源配線抵抗R₁およびグランド配線抵抗R₂を考慮した場合、さらに大きくなる。たとえば、素子の幅を従来例の場合と同じ80μmとすると、上記各配線抵抗R₁, R₂に許容される抵抗値は、従来例の場合よりも0.5Ωも大きくなるため、ESD保護回路30Aの必要挿入数を大幅に削減できる。

【0062】

図4は、図1に示したサイリスタ部33Aの、実際の素子構造の他の例を示すものである。なお、図2と同一部分には同一符号を付し、詳しい説明は割愛する。また、ここでは

、N⁺層33-21とN⁺層33-22との間の絶縁領域をなくして、MOSトランジスタ構造を形成するようにした場合について説明する。

【0063】

すなわち、このサイリスタ部33A'においては、上記N⁺層33-21、上記N⁺層33-22の相互間に対応する、上記P-well領域33-13の表面上に、たとえば、20オングストローム程度の厚さを有するゲート酸化膜（熱酸化膜）33-31を介して、N⁺型の多結晶シリコンからなるゲート電極33-32が形成されている。また、上記ゲート電極33-32である多結晶シリコンと、バルクである上記P-well領域33-13に接続された上記P⁺層33-23とを接続することによって、上記NPNトランジスタ33bが形成されている。

【0064】

一般に、STIの加工よりも多結晶ポリシリコンの加工の方が微細化に有利であり、上記ベース長L_pをより小さくすることが可能となる。ベース長L_pを小さくすると、スナップバック後の電圧の極小値V_hを低下させることができると、図2に示した構造に比べ、素子の幅をさらに縮小することができる。

【0065】

図5は、図1に示したサイリスタ部33Aの、実際の素子構造のさらに別の例を示すものである。なお、図2と同一部分には同一符号を付し、詳しい説明は割愛する。また、ここでは、NPNトランジスタ33bを縦型トランジスタ構造とした場合について説明する。

【0066】

このサイリスタ部33A''の場合、たとえば、P型半導体基板33-11の表面部に、ピーク濃度が $3.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、接合深さ(X_j)が $1.5 \mu\text{m}$ とされたN-well領域33-12、および、ピーク濃度が $2.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、接合深さ(X_j)が $1.9 \mu\text{m}$ とされた深いN-well領域33-41が隣接して形成されている。そして、この深いN-well領域33-41内に、ピーク濃度が $6.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、接合深さ(X_j)が $1.5 \mu\text{m}$ とされたP-well領域33-13が形成されている。また、上記P型半導体基板33-11の表面部には、STI(Shallow Trench Isolation)構造の、複数の素子分離用の絶縁領域33-14が選択的に形成されている。

【0067】

また、上記絶縁領域33-14の形成位置を除く、上記N-well領域33-12の表面部には、たとえば、ピーク濃度が $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 、接合深さ(X_j)が $0.18 \mu\text{m}$ とされたP⁺層33-15、P⁺層33-16、P⁺層33-17が、ほぼ一定の間隔を有して形成されている。上記P⁺層33-16、上記P⁺層33-17の相互間には、上記絶縁領域33-14が配置されている。上記P⁺層33-15、上記P⁺層33-16の相互間に對応する、上記N-well領域33-12の表面上には、たとえば、20オングストローム程度の厚さを有するゲート酸化膜（熱酸化膜）33-19を介して、P型の多結晶シリコンからなるゲート電極33-20が形成されている。一方、上記絶縁領域33-14の形成位置を除く、上記P-well領域33-13の表面部には、たとえば、ピーク濃度が $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 、接合深さ(X_j)が $0.18 \mu\text{m}$ とされたN⁺層33-21、P⁺層33-23が形成されている。

【0068】

このサイリスタ部33A''の場合、上記P⁺層33-15、上記P⁺層33-16および上記ゲート電極33-20が、それぞれ、図1に示したPMOSトランジスタ33dのドレイン、ソースおよびゲートとなる。このPMOSトランジスタ33dのドレイン、つまり、上記P⁺層33-15は上記トリガーリード32の出力端に接続されている。上記PMOSトランジスタ33dのゲート、つまり、上記ゲート電極33-20は上記CR積分回路31の出力端に接続されている。また、上記P⁺層33-16、上記N-well領域33-12、上記P⁺層33-17が、それぞれ、図1に示した上記PNPトランジスタ33aのコレクタ、ベース、エミッタとなる。図中のL_nはベース長であり、この例の場合、約0

. $2 \mu\text{m}$ となっている。また、上記 P^+ 層 33-17 は、上記した電源 PAD11 に接続されている。

【0069】

同様に、上記 N^+ 層 33-21, 上記 P-well 領域 33-13, 上記深い N-well I 領域 33-41 が、それぞれ、図 1 に示した NPN トランジスタ 33b のエミッタ、ベース、コレクタとなる。図中の L_p はベース長であり、この例の場合、約 $0.2 \mu\text{m}$ となっている。また、上記 N^+ 層 33-21 は、上記した GND-PAD12 と接続されるとともに、図 1 に示した抵抗素子 33c に相当する $5 \text{ k}\Omega$ の N-well 抵抗を介して、上記上記 P-well 領域 33-13 からベース電流を取り出すための上記 P^+ 層 33-23、および、上記トリガーレジスト 32 の出力端に接続されている。

【0070】

なお、上記 P 型半導体基板 33-11 の、上記 N-well 領域 33-12 および上記 P-well 領域 33-13 の非形成領域には、 P^+ 層（図示していない）が形成されている。この P^+ 層は、上記 GND-PAD12 に接続されている。また、このサイリスタ部 33A' の場合、寄生トランジスタの動作を回避するために、 $L_n < L_n 2$ または $L_p < L_p 2$ の少なくとも一方の関係を満足するように設計されている。さらに、高濃度拡散層である上記 P^+ 層 33-15, 上記 P^+ 層 33-16, 上記 P^+ 層 33-17, 上記 P^+ 層 33-23 および上記 N^+ 層 33-21 の幅は約 $1 \mu\text{m}$ 、長さ（紙面奥行き方向の寸法）は約 $40 \mu\text{m}$ である。また、上記抵抗素子 33c に相当する $5 \text{ k}\Omega$ の N-well 抵抗は、必要に応じて設けられる。

【0071】

このように、上記 NPN トランジスタ 33b を縦型構造とすることによって、エミッタからベースに注入される電流は、上記 P 型半導体基板 33-11 の深部の、不純物濃度の低い領域を主に流れる。これにより、電子のホールとの再結合を少なくできる。また、ベース長 L_p を小さくできるので、スナップバック後の電圧の極小値 V_h を低下させることができるとなる。これにより、要求抵抗値 (R_{on}) を緩和できるため、図 4 に示した構造に比べ、素子の幅をさらに縮小することができる。つまり、PNP トランジスタ 33a のベースと NPN トランジスタ 33b のコレクタとの接続を、well 1 間接続により実現するようにした場合には、ESD 保護回路 30A をより小面積化できる。

【0072】

上記したように、PNP トランジスタ 33a のコレクタから NPN トランジスタ 33b のベースに至る第 1 の電流経路の途中に、通常動作時に、この第 1 の電流経路を電気的に遮断する PMOS トランジスタ 33d が挿入されている。すなわち、通常動作時にはサイリスタがラッチアップするフィードバックループを遮断できるようにしている。これにより、スナップバック後の電圧の極小値 V_h が最大保証電源電圧 V_{ddmax} よりも大きくなければならない ($V_h > V_{ddmax}$) という制約が必要なくなるため、ESD 保護回路に対する設計の制約を緩和でき、ESD 保護回路における素子の幅や端子間に挿入する ESD 保護回路の個数を減少させることができる。したがって、ゲート酸化膜の薄膜化や配線抵抗に応じて要求抵抗値を十分に緩和できるため、集積回路装置に占める ESD 保護回路の面積を削減することが可能となるものである。

【0073】

[第 2 の実施形態]

図 6 は、この発明の第 2 の実施形態にしたがった、ESD 保護回路の構成例を示すものである。ここでは、同一基板上に保護対象となる半導体集積回路（たとえば、MOS 集積回路）とともに集積化されて、上記半導体集積回路のゲート酸化膜を保護する保護回路として用いられる、AC トリガー切断型サイリスタを例に説明する。なお、図 1 と同一部分には同一符号を付し、詳しい説明は割愛する。

【0074】

この第 2 の実施形態は、たとえば図 6 に示すように、通常動作時には、CR 積分回路 31 の出力により制御される PMOS トランジスタ 33d によって、PNP トランジスタ 3

3 a のコレクタと NPN トランジスタ 33 b のベースとを結ぶ第 1 の電流経路を電気的に遮断するように構成したものである。この例の場合、CMOS インバータを 2 段にしてトリガー回路 32' が構成されるとともに、その出力端がサイリスタ部 33 B の上記 PNP トランジスタ 33 a のベースに接続されている。

【0075】

すなわち、この ESD 保護回路 30 B の場合、たとえばトリガー回路 32' が、PMOS トランジスタ 32 a₋₁ と NMOS トランジスタ 32 b₋₁ とからなる第 1 の CMOS インバータと、PMOS トランジスタ 32 a₋₂ と NMOS トランジスタ 32 b₋₂ とからなる第 2 の CMOS インバータとによって構成されている。これら CMOS インバータの各電極、つまり、上記 PMOS トランジスタ 32 a₋₁、32 a₋₂ の各ソースおよび上記 NMOS トランジスタ 32 b₋₁、32 b₋₂ の各ソースは、それぞれ、上記した電源 PAD 11 と GND-PAD 12 とに接続されている。また、上記第 1 の CMOS インバータの、上記 PMOS トランジスタ 32 a₋₁ および上記 NMOS トランジスタ 32 b₋₁ の各ゲート電極（トリガー回路 32' の入力端）には、上記 CR 積分回路 31 の出力端が接続されている。上記 PMOS トランジスタ 32 a₋₁ および上記 NMOS トランジスタ 32 b₋₁ の共通ドレンは、上記第 2 の CMOS インバータの、上記 PMOS トランジスタ 32 a₋₂ および上記 NMOS トランジスタ 32 b₋₂ の各ゲート電極に接続されている。そして、上記 PMOS トランジスタ 32 a₋₂ および上記 NMOS トランジスタ 32 b₋₂ の共通ドレン（トリガー回路 32' の出力端）は、上記サイリスタ部 33 B の上記 PNP トランジスタ 33 a のベースおよび上記 NPN トランジスタ 33 b のコレクタに接続されている。

【0076】

一方、上記サイリスタ部 33 B は、たとえば、上記 PNP トランジスタ 33 a のコレクタから上記 NPN トランジスタ 33 b のベースに至る第 1 の経路（第 1 の接続配線）と、これとは別の、上記 PNP トランジスタ 33 a のベースから上記 NPN トランジスタ 33 b のコレクタに至る第 2 の経路（第 2 の接続配線）とを有し、上記第 1 の経路に上記スイッチング用の PMOS トランジスタ 33 d が挿入されている。そして、この PMOS トランジスタ 33 d のゲート電極には、上記 CR 積分回路 31 の出力端が接続されている。

【0077】

以下に、図 6 を参照して、上記した構成の ESD 保護回路 30 B の動作について説明する。まず、ESD サージ電圧が印加された際の動作（保護動作）について説明する。たとえば、上記電源 PAD 11 および上記 GND-PAD 12 間に、正の ESD サージ電圧が印加されたとする。すると、上記トリガー回路 32' および上記サイリスタ部 33 B は、上記電源 PAD 11 からの電圧（Vdd）の供給によって動作状態となる。上記 CR 積分回路 31 の出力（中間ノード）は、上記容量素子 31 b の働きによって GND 電位（0 V）に保持される。これにより、上記 PMOS トランジスタ 33 d のゲート電圧が GND 電位となって、上記 PMOS トランジスタ 33 d がオンする。

【0078】

一方、上記トリガー回路 32' の出力は入力と同じ 0 V となり、上記 PNP トランジスタ 33 a のベース—エミッタ接合部に、上記電源 PAD 11 からの電流が流入される。その結果、上記 PNP トランジスタ 33 a がオン状態になる。すなわち、上記 PNP トランジスタ 33 a にコレクタ電流が流れ。すると、上記 PMOS トランジスタ 33 d を介して、上記 NPN トランジスタ 33 b のベースに電流が流れ、上記 NPN トランジスタ 33 b はオン状態になる。この NPN トランジスタ 33 b のコレクタ電流は、上記 PNP トランジスタ 33 a のベース電流を供給する。これにより、ポジティブなフィードバックループが形成される。そのため、上記サイリスタ部 33 B がスナップバックを起こし、上記電源 PAD 11 から上記 GND-PAD 12 に向かって大電流を流すことが可能な低インピーダンス状態になる。したがって、ESD サージ電流は、上記電源 PAD 11 からの電圧（Vdd）を上昇することなく放電され、上記半導体集積回路 20 を破壊することはない。

【0079】

次に、通常動作（非保護動作）時の、上記ESD保護回路30Bの動作について説明する。上記電源PAD11からの電圧（Vdd）に変化のない状態では、上記CR積分回路31の中間ノードは、上記抵抗素子31aの働きによって電圧Vddになる。そのため、上記トリガー回路32'の出力はVdd電位となる。したがって、上記PNPトランジスタ33aはオフとなる。この場合、上記PMOSトランジスタ33dもオフのままとなるため、スナップバックを起こすためのフィードバックループが遮断される。すなわち、上記サイリスタ部33Bはカットオフした状態となる。

【0080】

上記したように、この第2の実施形態の場合も、通常動作時には上記サイリスタ部33Bはラッチアップしない。つまり、スナップバック後の電圧の極小値Vhが最大保証電源電圧Vddmaxよりも大きくなければならない（ $Vh > Vddmax$ ）という制約は必要ない。したがって、上述した第1の実施形態の場合と同様に、素子の幅あるいは必要挿入数を大幅に削減できる。

【0081】

[第3の実施形態]

図7は、この発明の第3の実施形態にしたがった、ESD保護回路の構成例を示すものである。ここでは、同一基板上に保護対象となる半導体集積回路（たとえば、MOS集積回路）とともに集積化されて、上記半導体集積回路のゲート酸化膜を保護する保護回路として用いられる、ACトリガーカーブ型サイリスタを例に説明する。なお、図6と同一部分には同一符号を付し、詳しい説明は割愛する。

【0082】

この第3の実施形態は、たとえば図7に示すように、通常動作時には、CR微分回路31'の出力により制御されるNMOSトランジスタ33eによって、PNPトランジスタ33aのコレクタと上記NPNトランジスタ33bのベースとを結ぶ第1の電流経路を電気的に遮断するように構成したものである。この例の場合も、上述した第2の実施形態の場合と同様に、CMOSインバータを2段にしてトリガー回路32'が構成されるとともに、本例では、その出力端がサイリスタ部33Cの上記NPNトランジスタ33bのベースに接続されている。

【0083】

すなわち、このESD保護回路30Cの場合、たとえばCR微分回路31'は、上記電源PAD11と上記GND-PAD12との間に、上記容量素子（C）31bと上記抵抗素子（R）31aとが直列に接続された構成とされている。そして、上記容量素子31bと上記抵抗素子31aとの接続点である、上記CR微分回路31'の出力端（中間端子）は、上記トリガー回路32'の入力端、および、スイッチング用のNMOSトランジスタ33eのゲート電極に接続されている。

【0084】

一方、上記サイリスタ部33Cは、たとえば、上記PNPトランジスタ33aのコレクタから上記NPNトランジスタ33bのベースに至る第1の経路（第1の接続配線）と、これとは別の、上記PNPトランジスタ33aのベースから上記NPNトランジスタ33bのコレクタに至る第2の経路（第2の接続配線）とを有し、上記第1の経路に上記スイッチング用のNMOSトランジスタ33eが挿入されている。そして、上記トリガー回路32'の出力端が、上記サイリスタ部33Cの上記NPNトランジスタ33bのベース、上記抵抗素子33cの一端、および、上記NMOSトランジスタ33eのドレインに接続されている。

【0085】

以下に、図7を参照して、上記した構成のESD保護回路30Cの動作について説明する。まず、ESDサージ電圧が印加された際の動作（保護動作）について説明する。たとえば、上記電源PAD11および上記GND-PAD12間に、正のESDサージ電圧が印加されたとする。すると、上記トリガー回路32'および上記サイリスタ部33Cは、上記電源PAD11からの電圧（Vdd）の供給によって動作状態となる。上記CR微分

回路31'の出力（中間ノード）は、上記容量素子31bの働きによってVdd電位に保持される。これにより、上記NMOSトランジスタ33eのゲート電圧がVdd電位となって、上記NMOSトランジスタ33eがオンする。

【0086】

一方、上記トリガー回路32'の出力は入力と同じVdd電位となり、上記NPNトランジスタ33bのベースーエミッタ接合部に、上記電源PAD11からの電流が流入される。その結果、上記NPNトランジスタ33bがオン状態になる。すなわち、上記NPNトランジスタ33bにコレクタ電流が流れる。すると、上記PNPトランジスタ33aのベースに電流が流れ、上記PNPトランジスタ33aはオン状態になる。このPNPトランジスタ33aのコレクタ電流は、上記NMOSトランジスタ33eを介して、上記NPNトランジスタ33bのベース電流を供給する。これにより、ポジティブなフィードバックループが形成される。そのため、上記サイリスタ部33Cがスナップバックを起こし、上記電源PAD11から上記GND-PAD12に向かって大電流を流すことが可能な低インピーダンス状態になる。したがって、ESDサージ電流は、上記電源PAD11からの電圧(Vdd)を上昇することなく放電され、上記半導体集積回路20を破壊することはない。

【0087】

次に、通常動作（非保護動作）時の、上記ESD保護回路30Cの動作について説明する。上記電源PAD11からの電圧(Vdd)に変化のない状態では、上記CR微分回路31'の中間ノードは、上記抵抗素子31aの働きによってGND電位(0V)になる。そのため、上記トリガー回路32'の出力はGND電位となる。したがって、上記NPNトランジスタ33bはオフとなる。この場合、上記PNPトランジスタ33aのベース電流が供給されないため、このPNPトランジスタ33aにも電流は流れない。さらに、上記NMOSトランジスタ33eもオフのままでなるため、スナップバックを起こすためのフィードバックループが遮断される。すなわち、上記サイリスタ部33Cはカットオフした状態となる。

【0088】

上記したように、この第3の実施形態の場合も、通常動作時には上記サイリスタ部33Cはラッチアップしない。つまり、スナップバック後の電圧の極小値Vhが最大保証電源電圧Vddmaxよりも大きくなければならない($Vh > Vddmax$)という制約は必要ない。したがって、上述した第1および第2の実施形態の場合と同様に、素子の幅あるいは必要挿入数を大幅に削減できる。

【0089】

しかも、一般にNMOSトランジスタの電流駆動力は、PMOSトランジスタよりも2倍程度も大きい。よって、第1および第2の実施形態に比べ、スイッチング素子を1/2程度の大きさにまで縮小できる。

【0090】

[第4の実施形態]

図8は、この発明の第4の実施形態にしたがった、ESD保護回路の構成例を示すものである。ここでは、同一基板上に保護対象となる半導体集積回路（たとえば、MOS集積回路）とともに集積化されて、上記半導体集積回路のゲート酸化膜を保護する保護回路として用いられる、ACトリガー切断型サイリスタを例に説明する。なお、図7と同一部分には同一符号を付し、詳しい説明は割愛する。

【0091】

この第4の実施形態は、たとえば図8に示すように、通常動作時には、CR微分回路31'の出力により制御されるNMOSトランジスタ33eによって、PNPトランジスタ33aのコレクタと上記NPNトランジスタ33bのベースとを結ぶ第1の電流経路を電気的に遮断するように構成したものである。この例の場合、上述した第1の実施形態の場合と同様に、CMOSインバータを1段にしてトリガー回路32が構成されるとともに、本例では、その出力端がサイリスタ部33Dの上記PNPトランジスタ33aのベースに

接続されている。

【0092】

すなわち、このE S D保護回路30Dの場合、たとえばC R微分回路31'は、上記電源P A D 1 1と上記G N D-P A D 1 2との間に、上記容量素子(C)31bと上記抵抗素子(R)31aとが直列に接続された構成とされている。そして、上記容量素子31bと上記抵抗素子31aとの接続点である、上記C R微分回路31'の出力端(中間端子)は、上記トリガー回路32の入力端、および、スイッチング用のN M O Sトランジスタ33eのゲート電極に接続されている。

【0093】

一方、上記サイリスタ部33Dは、たとえば、上記P N Pトランジスタ33aのコレクタから上記N P Nトランジスタ33bのベースに至る第1の経路(第1の接続配線)と、これとは別の、上記P N Pトランジスタ33aのベースから上記N P Nトランジスタ33bのコレクタに至る第2の経路(第2の接続配線)とを有し、上記第1の経路に上記スイッチング用のN M O Sトランジスタ33eが挿入されている。そして、上記トリガー回路32の出力端が、上記サイリスタ部33Dの上記P N Pトランジスタ33aのベース、および、上記N P Nトランジスタ33bのコレクタに接続されている。

【0094】

以下に、図8を参照して、上記した構成のE S D保護回路30Dの動作について説明する。まず、E S Dサージ電圧が印加された際の動作(保護動作)について説明する。たとえば、上記電源P A D 1 1および上記G N D-P A D 1 2間に、正のE S Dサージ電圧が印加されたとする。すると、上記トリガー回路32および上記サイリスタ部33Dは、上記電源P A D 1 1からの電圧(V d d)の供給によって動作状態となる。上記C R微分回路31'の出力(中間ノード)は、上記容量素子31bの働きによってV d d電位に保持される。これにより、上記N M O Sトランジスタ33eのゲート電圧がV d d電位となって、上記N M O Sトランジスタ33eがオンする。その結果、従来例と同様のメカニズムによって、ポジティブなフィードバックループが形成される。

【0095】

つまり、上記トリガー回路32のN M O Sトランジスタ32bが導通状態となって、上記サイリスタ部33DのP N Pトランジスタ33aのベースーエミッタ接合部に、上記電源P A D 1 1からの電流が流入される。その結果、上記P N Pトランジスタ33aがオン状態になる。すなわち、上記P N Pトランジスタ33aにコレクタ電流が流れ。すると、上記N M O Sトランジスタ33eを介して、上記N P Nトランジスタ33bのベースに電流が流れ、上記N P Nトランジスタ33bはオン状態になる。このN P Nトランジスタ33bのコレクタ電流は、上記P N Pトランジスタ33aのベース電流を供給する。これにより、ポジティブなフィードバックループが形成される。そのため、上記サイリスタ部33Dがスナップバックを起こし、上記電源P A D 1 1から上記G N D-P A D 1 2に向かって大電流を流すことが可能な低インピーダンス状態になる。したがって、E S Dサージ電流は、上記電源P A D 1 1からの電圧(V d d)を上昇することなく放電され、上記半導体集積回路20を破壊することはない。

【0096】

次に、通常動作(非保護動作)時の、上記E S D保護回路30Dの動作について説明する。上記電源P A D 1 1からの電圧(V d d)に変化のない状態では、上記C R微分回路31'の中間ノードは、上記抵抗素子31aの働きによってG N D電位(0 V)になる。そのため、上記トリガー回路32の出力はG N D電位となる。したがって、上記N P Nトランジスタ33bはオフとなる。この場合、上記P N Pトランジスタ33aのベース電流が供給されないため、上記P N Pトランジスタ33aにも電流は流れない。さらに、上記N M O Sトランジスタ33eもオフのままとなるため、スナップバックを起こすためのフィードバックループが遮断される。すなわち、上記サイリスタ部33Dはカットオフした状態となる。

【0097】

上記したように、この第4の実施形態の場合も、通常動作時には上記サイリスタ部33Dはラッチアップしない。つまり、スナップバック後の電圧の極小値V_hが最大保証電源電圧V_{dd max}よりも大きくなればならない（V_h>V_{dd max}）という制約は必要ない。したがって、上述した第1、第2および第3の実施形態の場合と同様に、素子の幅あるいは必要挿入数を大幅に削減できる。

【0098】

しかも、一般にN MOSトランジスタの電流駆動力は、P MOSトランジスタよりも2倍程度も大きい。よって、第1および第2の実施形態に比べ、スイッチング素子を1/2程度の大きさにまで縮小できる。

【0099】

以上、詳述したように各実施形態によれば、通常動作時にサイリスタがラッチアップするのを回避できるようになる。これにより、スナップバック後の電圧の極小値V_hを電源電圧（V_{dd}）以下とすることが可能となる。その結果、ESD保護回路におけるスナップバック後の導通状態時のオン抵抗（要求抵抗値）R_{on}と配線抵抗（R₁+R₂）との和に許容される値が大きくなる。したがって、集積回路装置に占めるESD保護回路の面積またはESD保護回路の挿入数を削減できる。

【0100】

しかも、サイリスタのラッチアップのオン・オフおよびトリガー動作の両方を、少ない回路素子数ならびに比較的単純な回路構成によって実現できる。

【0101】

特に、NPNトランジスタはHFEが高いので、スナップバック後の電圧の極小値V_hを小さくすることができる。したがって、集積回路装置に占めるESD保護回路の面積またはESD保護回路の挿入数を、さらに削減できる。

【0102】

なお、上記した各実施形態においては、いずれも、PNPトランジスタ33aのコレクタからNPNトランジスタ33bのベースに至る第1の経路（第1の接続配線）に、スイッチング用のMOSトランジスタを挿入するようにした場合を例に説明した。これに限らず、たとえば、PNPトランジスタ33aのベースからNPNトランジスタ33bのコレクタに至る第2の経路（第2の接続配線）に、スイッチング用のMOSトランジスタを挿入することによっても、同様に実施することが可能である。

【0103】

その他、本願発明は、上記（各）実施形態に限定されるものではなく、実施段階ではその要旨を逸脱しない範囲で種々に変形することが可能である。さらに、上記（各）実施形態には種々の段階の発明が含まれており、開示される複数の構成要件における適宜な組み合わせにより種々の発明が抽出され得る。たとえば、（各）実施形態に示される全構成要件からいくつかの構成要件が削除されても、発明が解決しようとする課題の欄で述べた課題（の少なくとも1つ）が解決でき、発明の効果の欄で述べられている効果（の少なくとも1つ）が得られる場合には、その構成要件が削除された構成が発明として抽出され得る。

【図面の簡単な説明】

【0104】

【図1】本発明の第1の実施形態にしたがった、ESD保護回路の構成例を示す回路図。

【図2】図1に示したESD保護回路の、サイリスタ部の素子構造の一例を示す断面図。

【図3】図1に示したESD保護回路の、大電流領域のI-V特性を示す図。

【図4】図1に示したESD保護回路の、サイリスタ部の素子構造の他の例を示す断面図。

【図5】図1に示したESD保護回路の、サイリスタ部の素子構造のさらに別の例を示す断面図。

【図6】本発明の第2の実施形態にしたがった、ESD保護回路の構成例を示す回路図。

【図7】本発明の第3の実施形態にしたがった、ESD保護回路の構成例を示す回路図。

【図8】本発明の第4の実施形態にしたがった、ESD保護回路の構成例を示す回路図。

【図9】従来技術とその問題点を説明するために、集積回路装置の基本構成を示す図。

【図10】従来のESD保護回路の構成例を示す回路図。

【図11】図10に示したESD保護回路の、サイリスタ部の素子構造の一例を示す断面図。

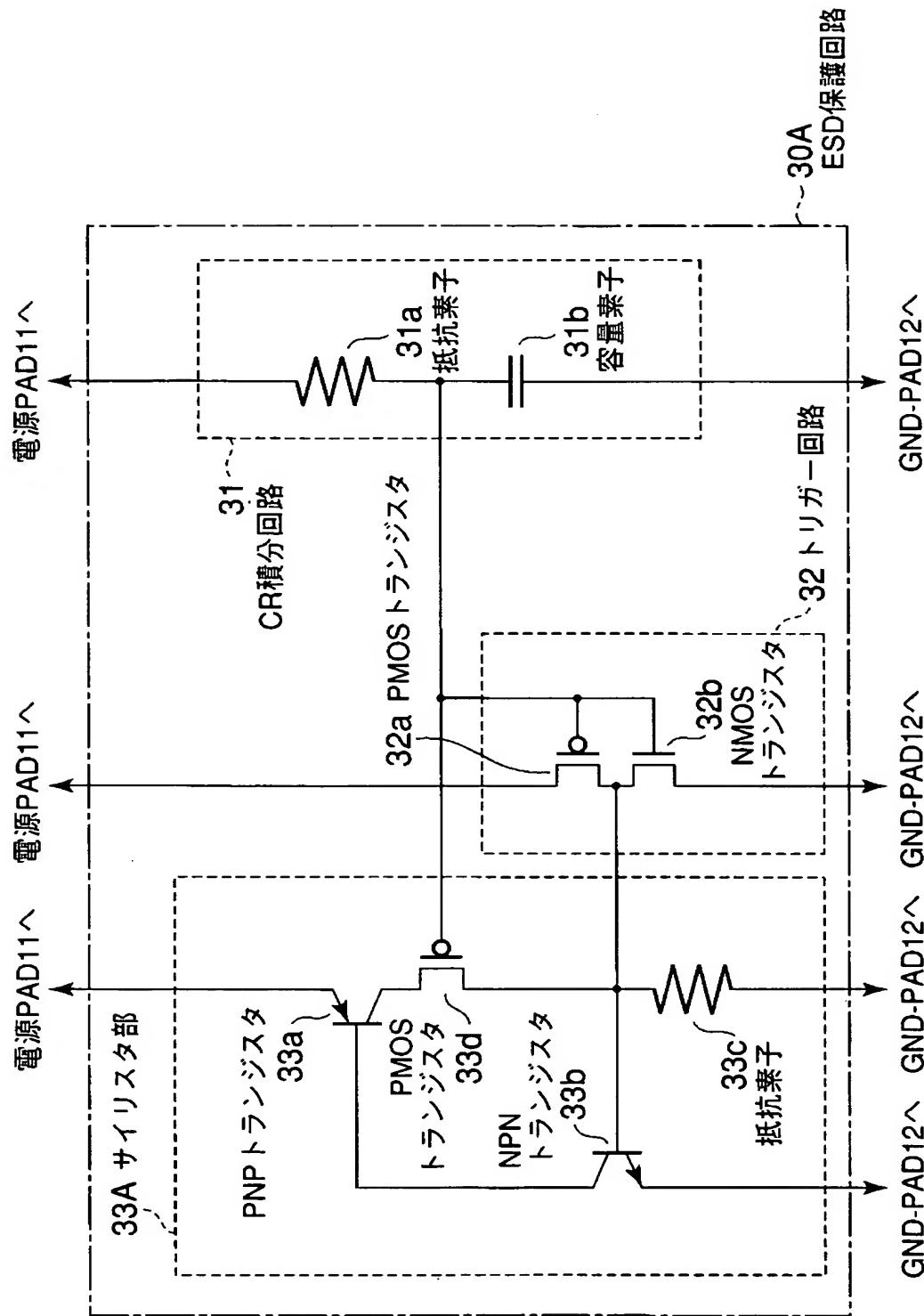
【図12】図10に示したESD保護回路の、大電流領域のI-V特性を示す図。

【符号の説明】

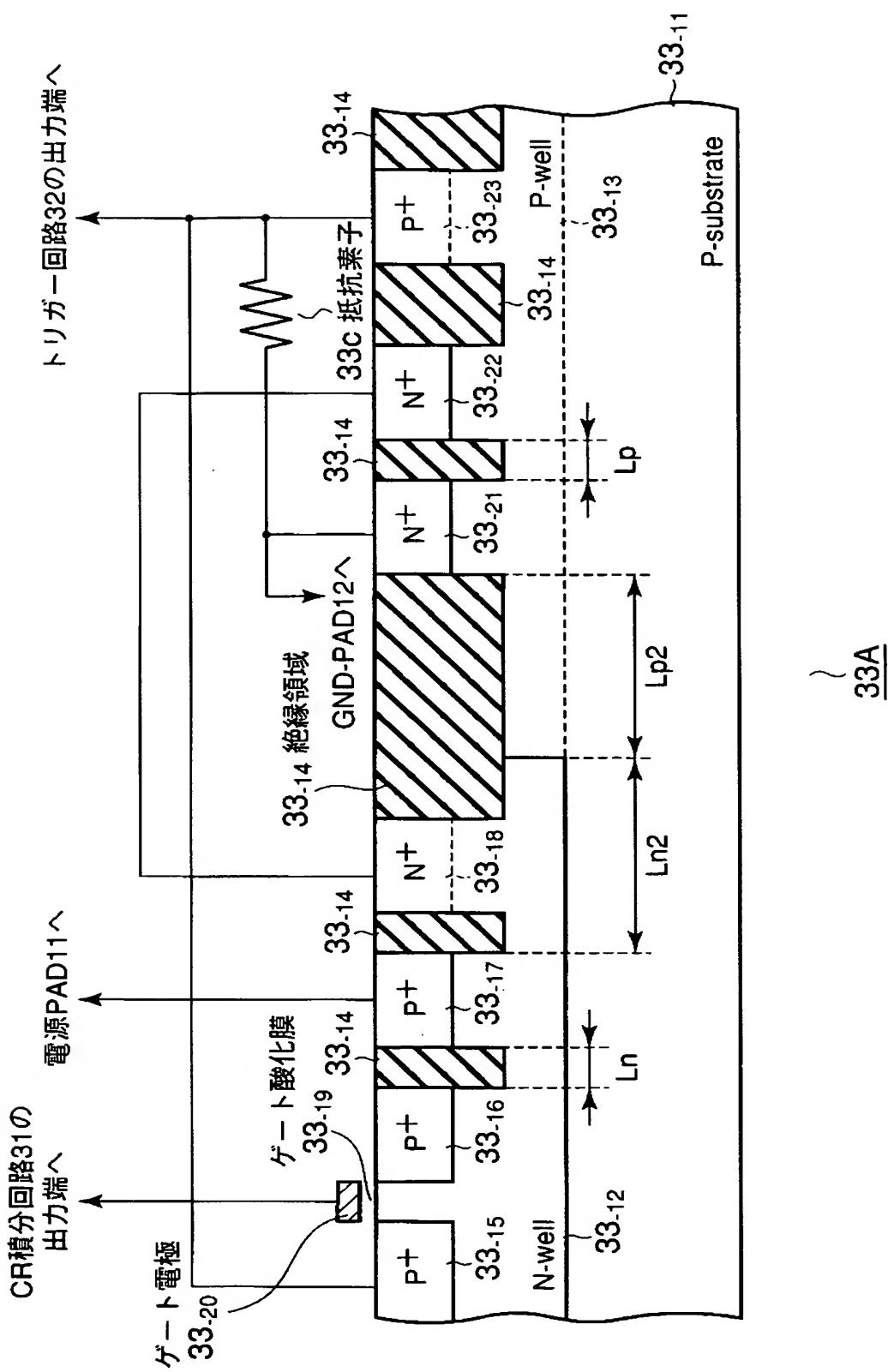
【0105】

11…電源PAD、12…GND-PAD、20…半導体集積回路、30, 30A, 30B, 30C, 30D…ESD保護回路、31…CR積分回路、31'…CR微分回路、31a…抵抗素子(R)、31b…容量素子(C)、32, 32'…トリガー回路、32a, 32a-1, 32a-2…PMOSトランジスタ、32b, 32b-1, 32b-2…NMOSトランジスタ、33A, 33A', 33A'', 33B, 33C, 33D…サイリスタ部、33a…PNPトランジスタ、33b…NPNトランジスタ、33c…抵抗素子、33d…PMOSトランジスタ(スイッチング素子)、33e…NMOSトランジスタ(スイッチング素子)、33-11…P型半導体基板、33-12…N-well領域、33-13…P-well領域、33-14…素子分離用絶縁領域、33-15, 33-16, 33-17, 33-18, 33-19, 33-20, 33-21, 33-22…N⁺層、33-23…P⁺層、33-31…ゲート酸化膜、33-32…ゲート電極、33-41…深いN-well領域、40…保護ダイオード、R1…電源配線抵抗、R2…グランド配線抵抗、L_n, L_p…ベース長。

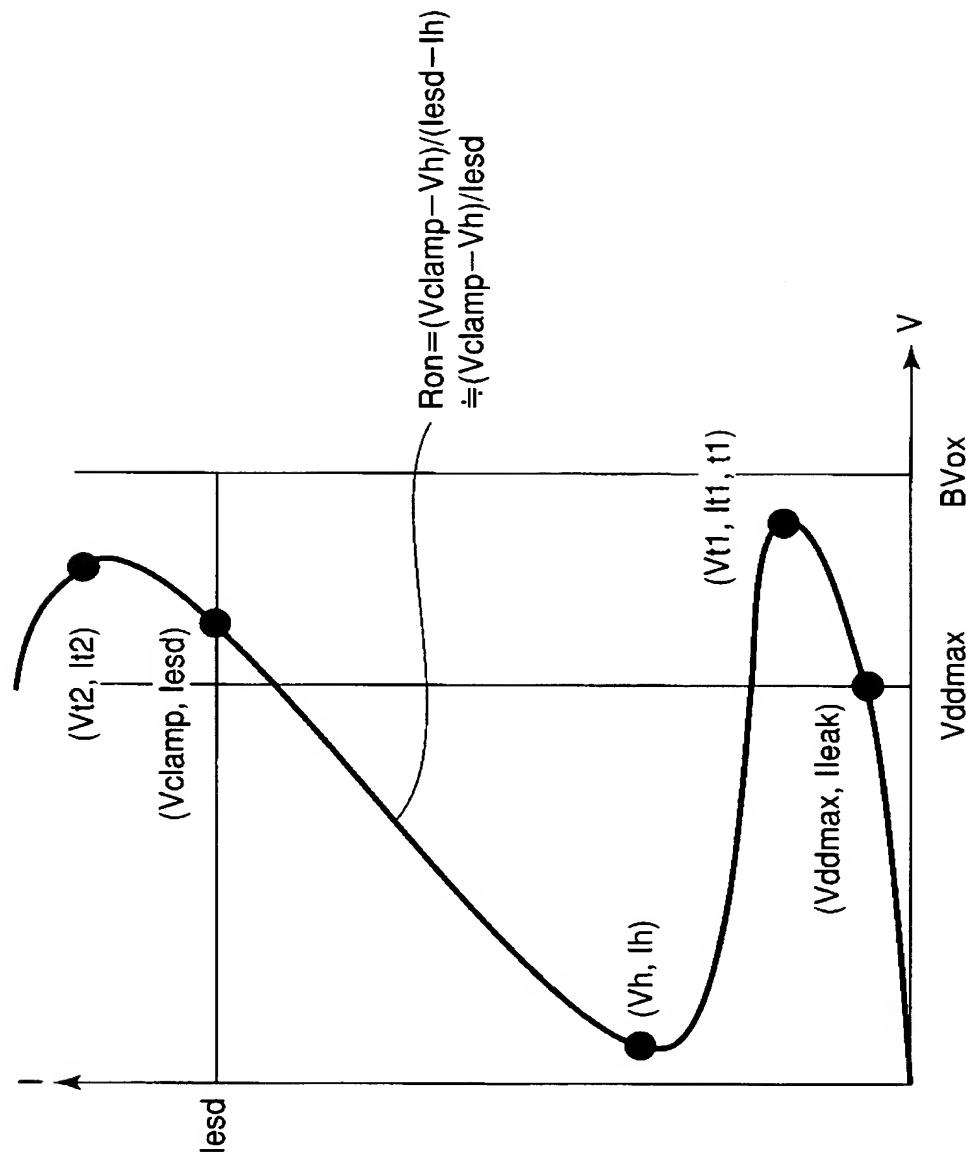
【書類名】図面
【図1】



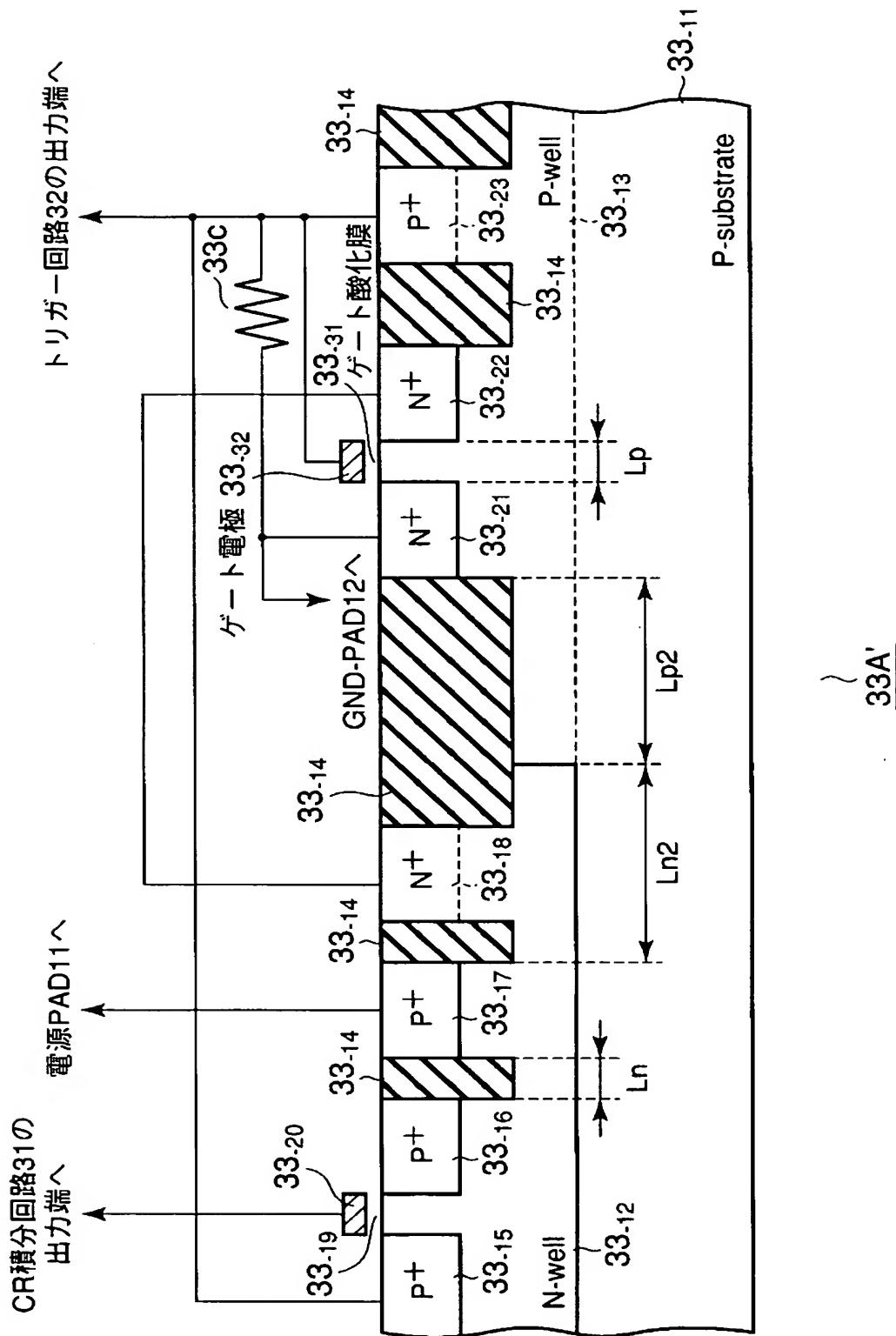
【図2】



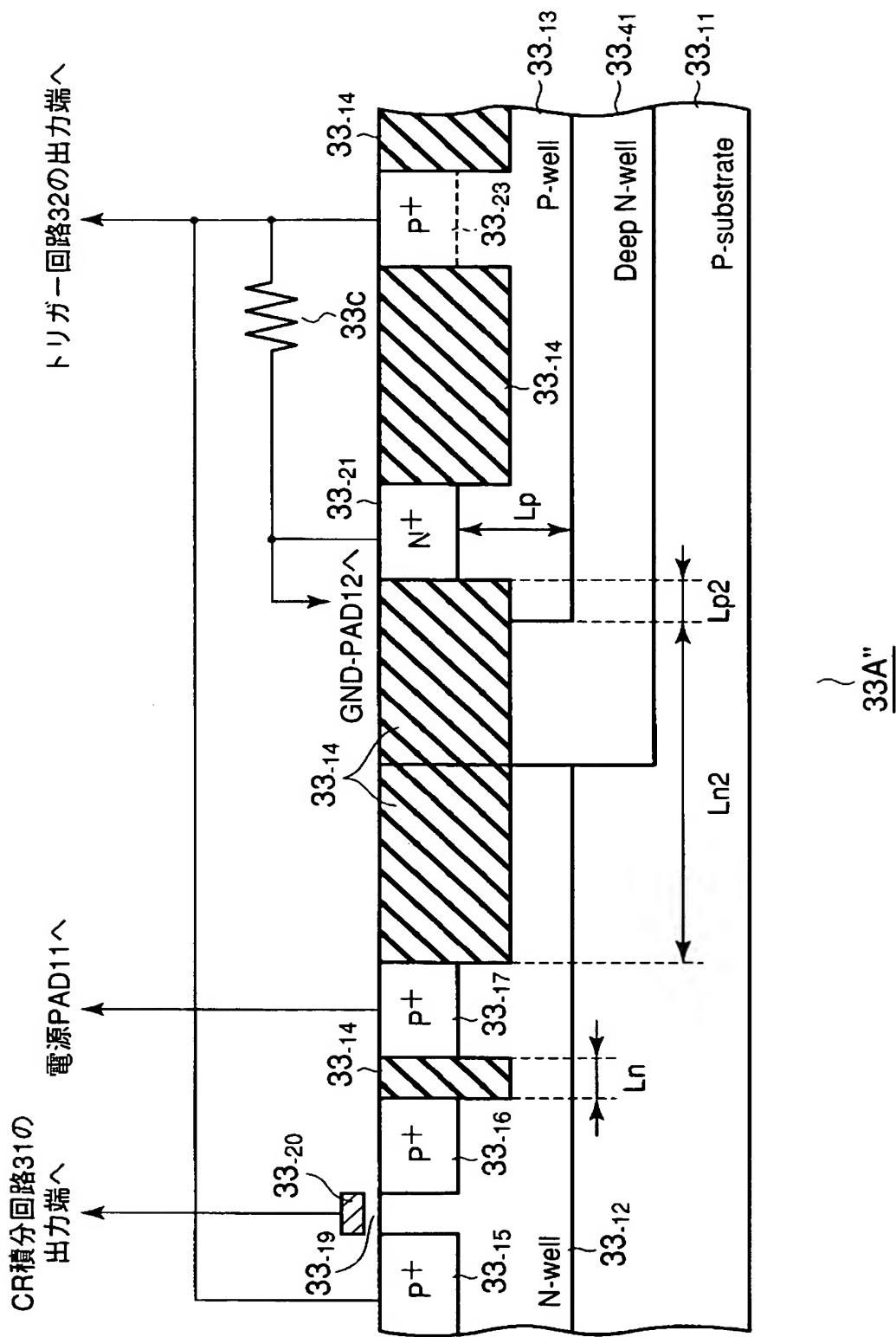
【図3】



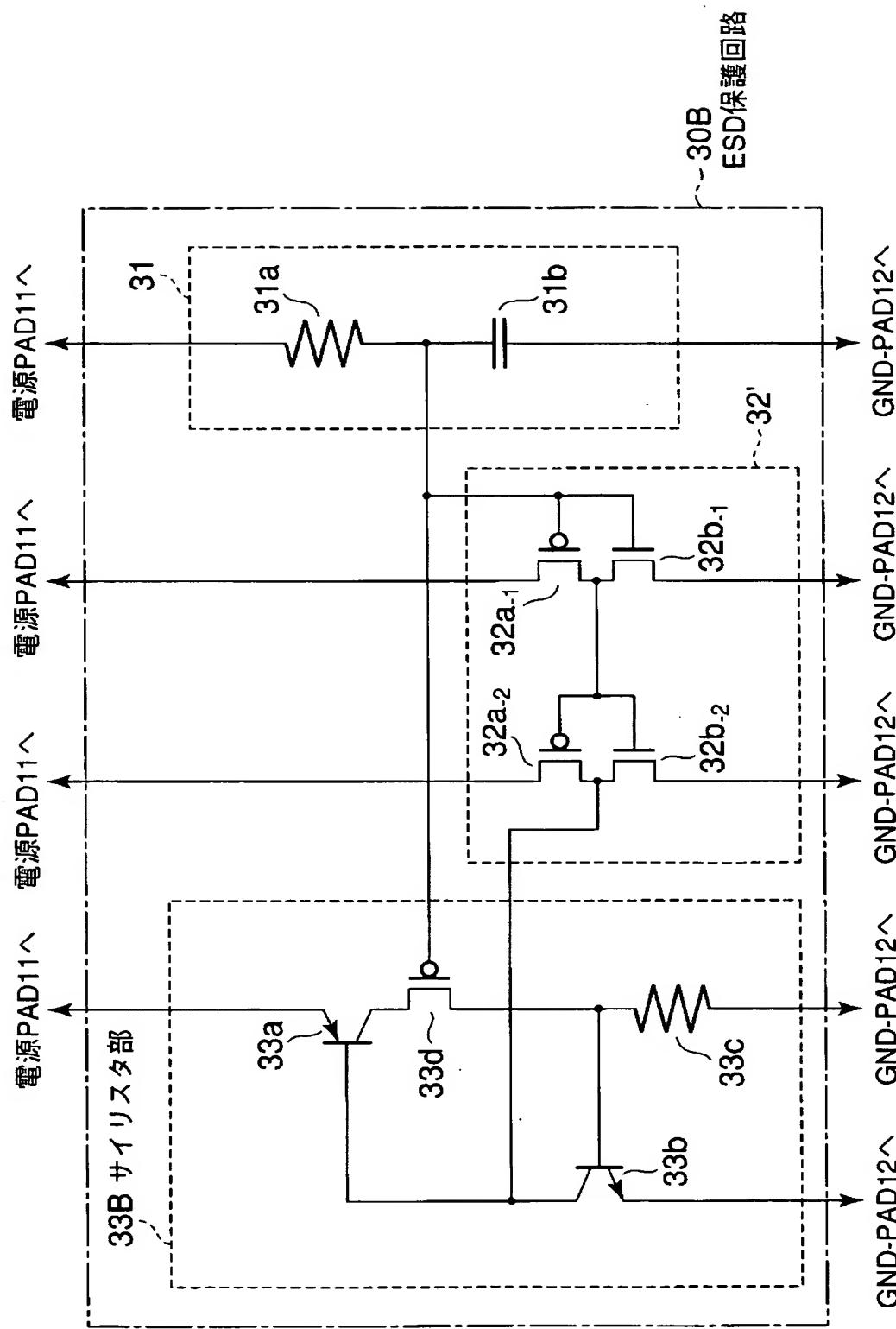
【図4】



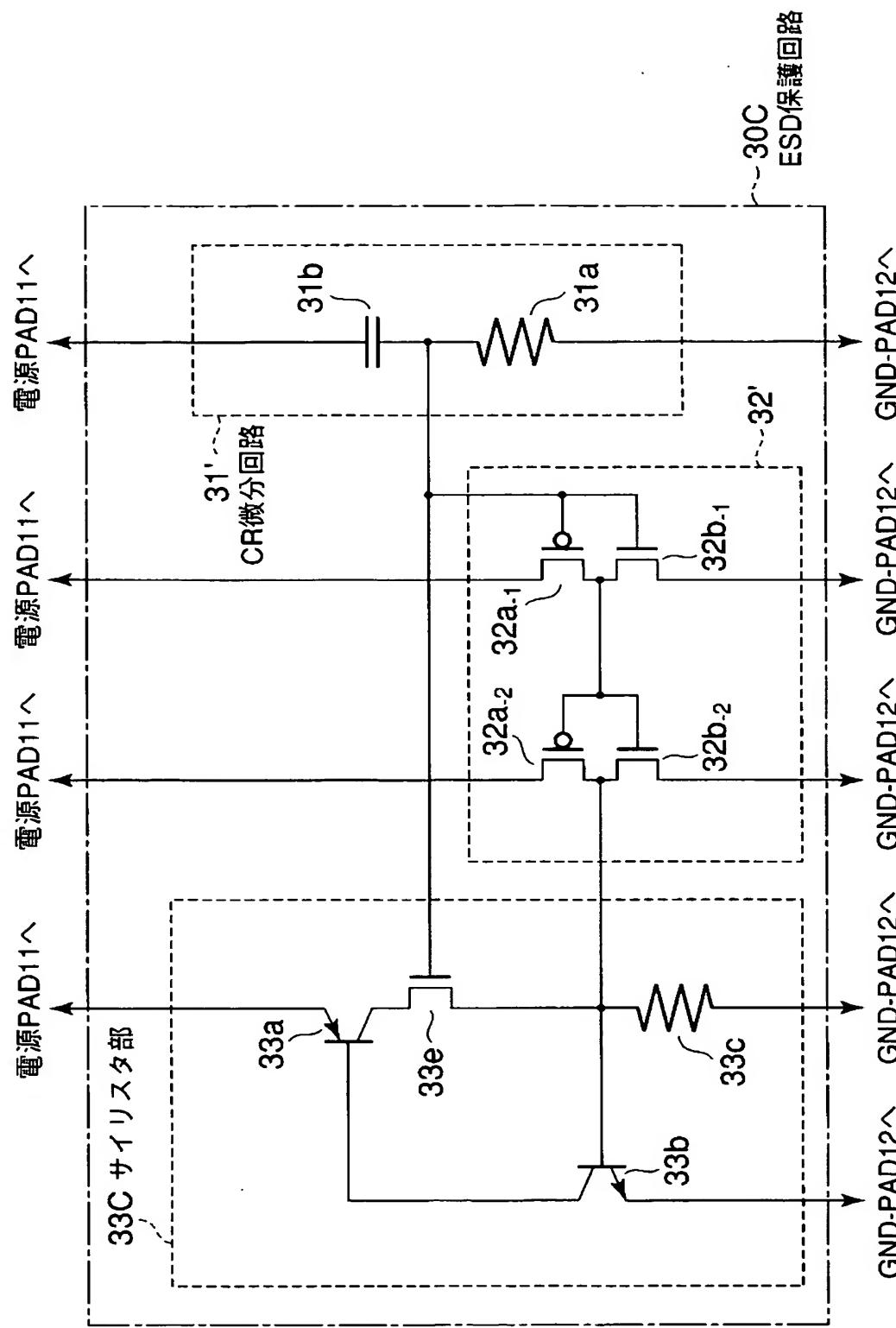
【図5】



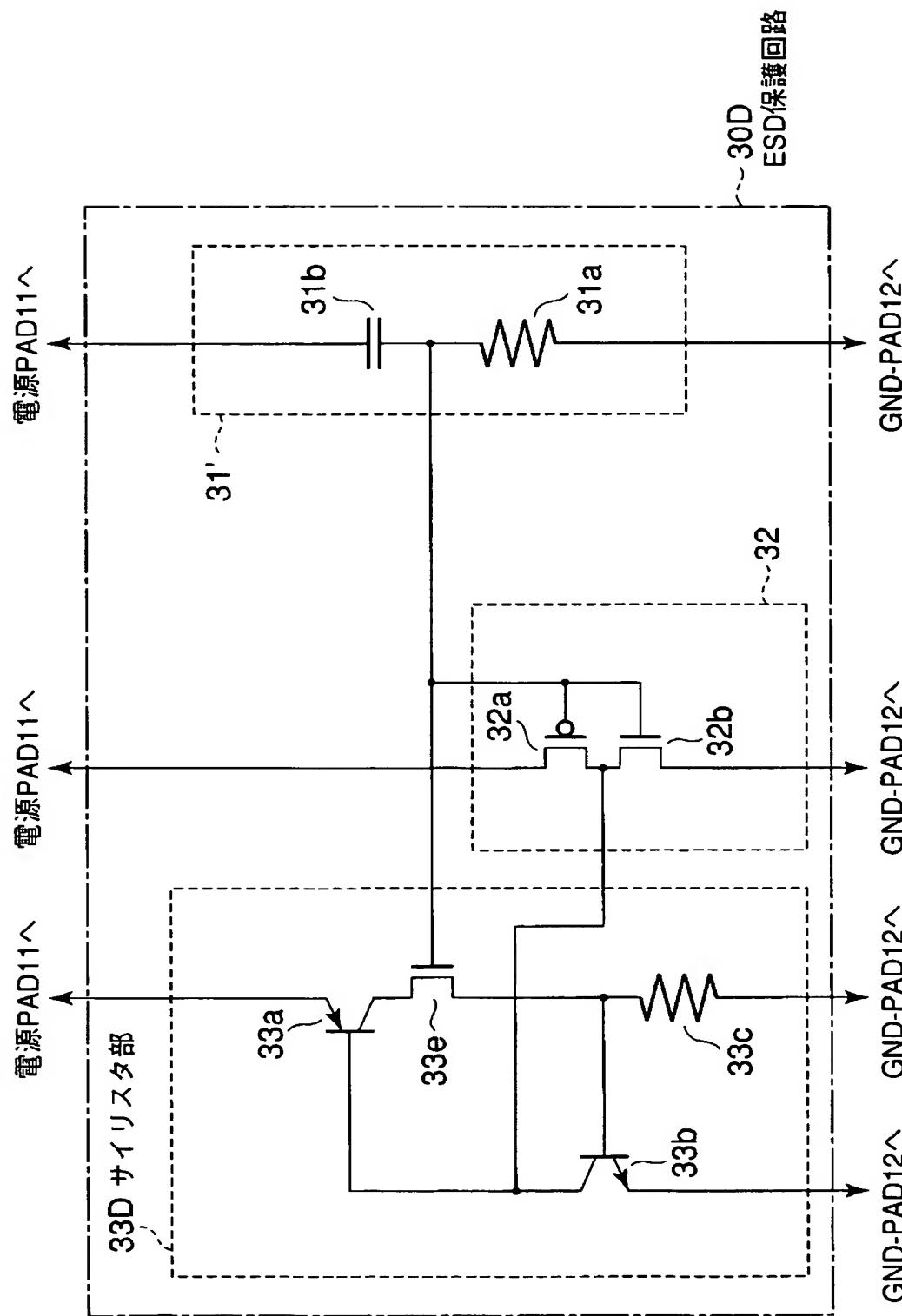
【図 6】



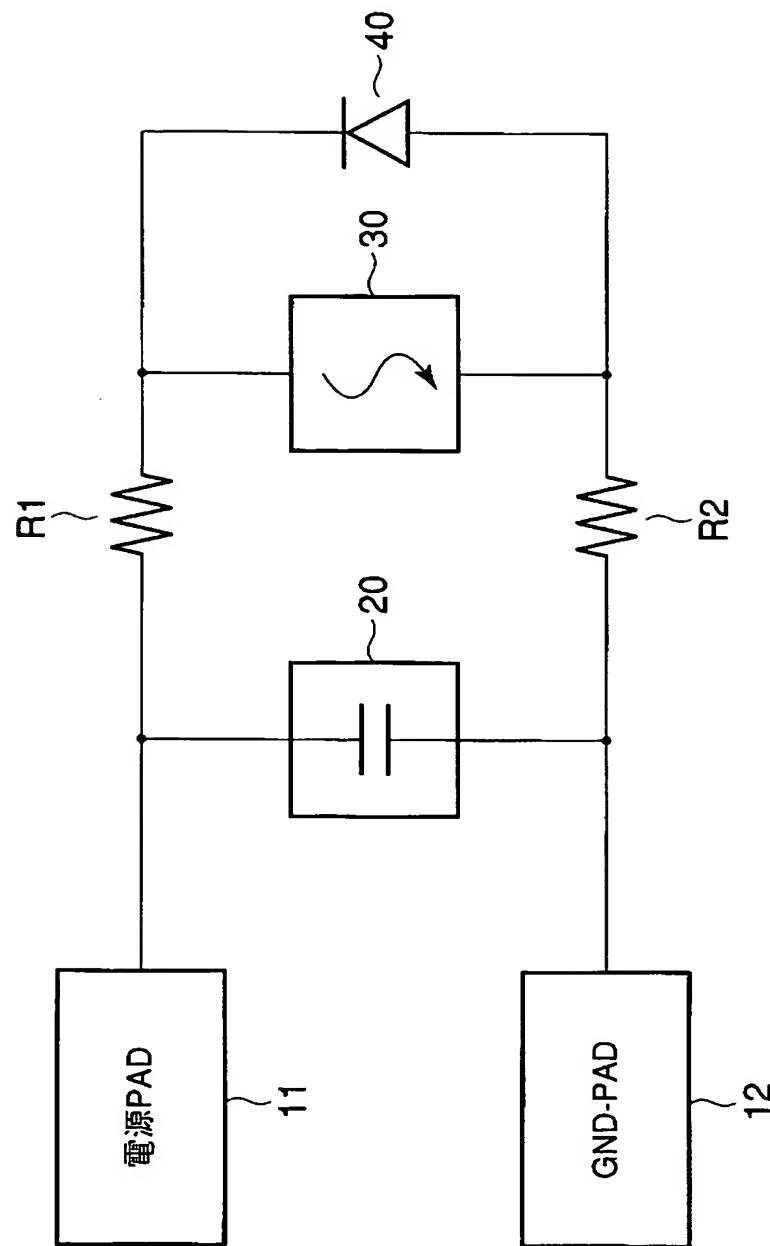
【図7】



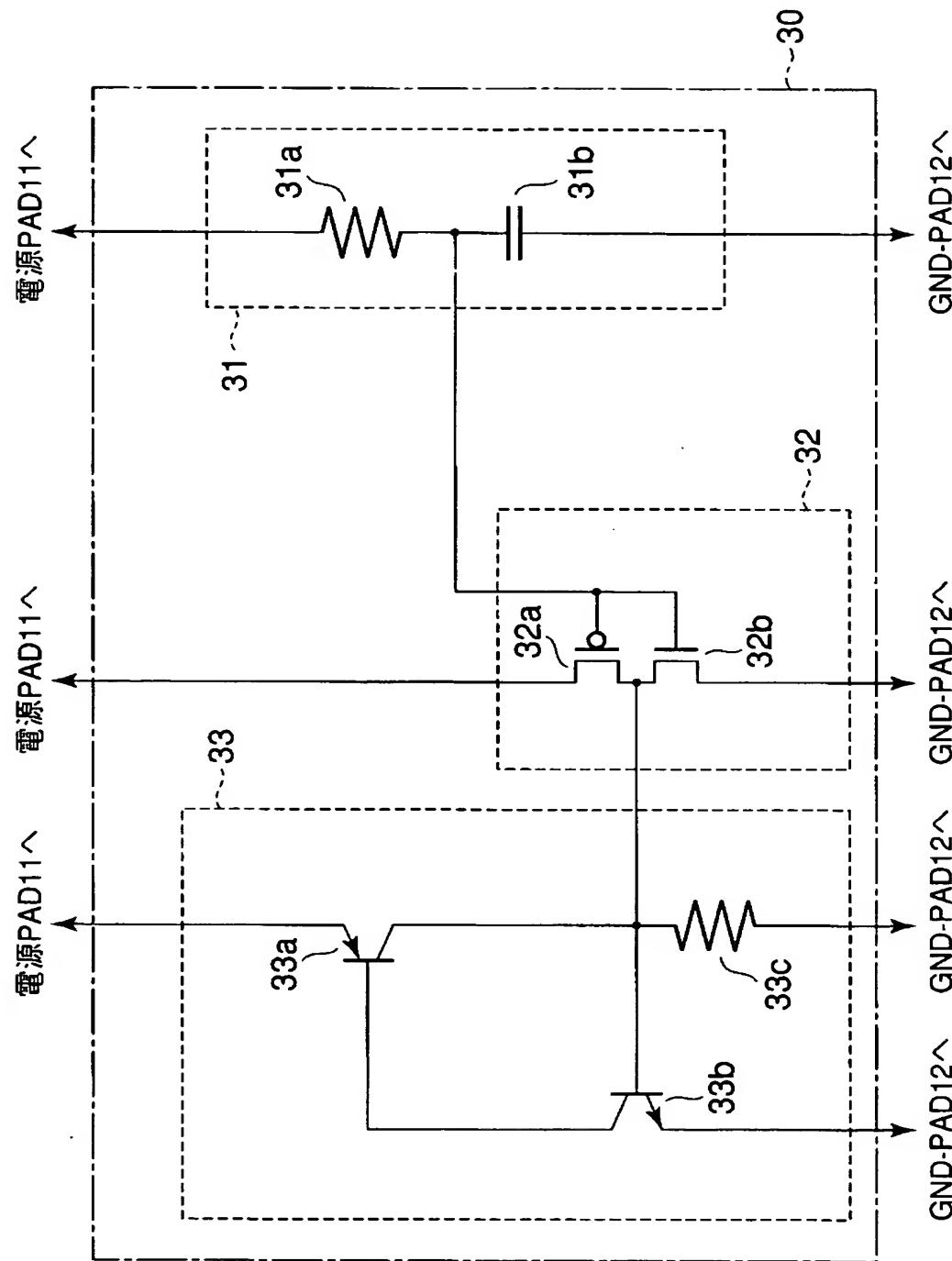
【図8】



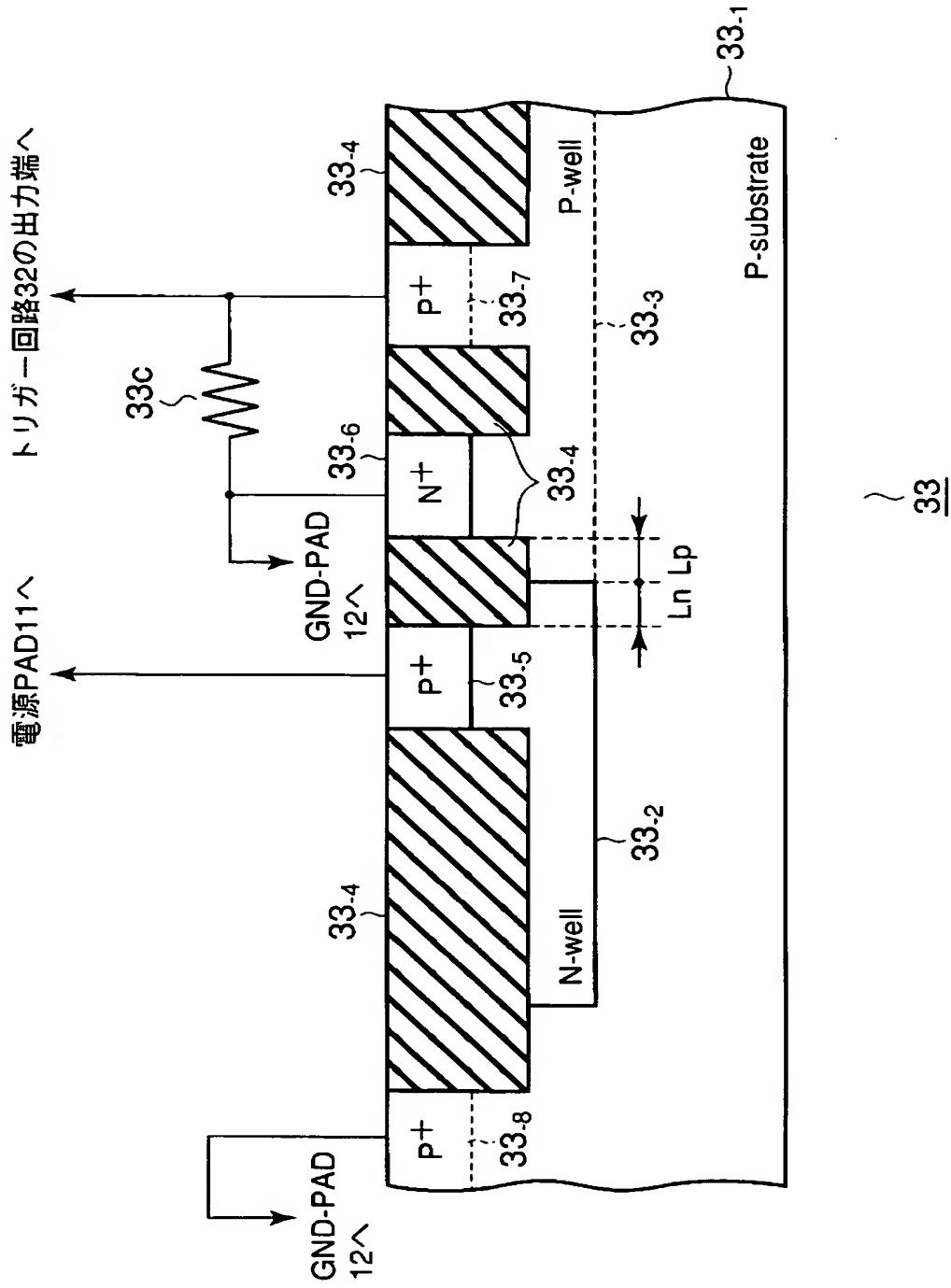
【図9】



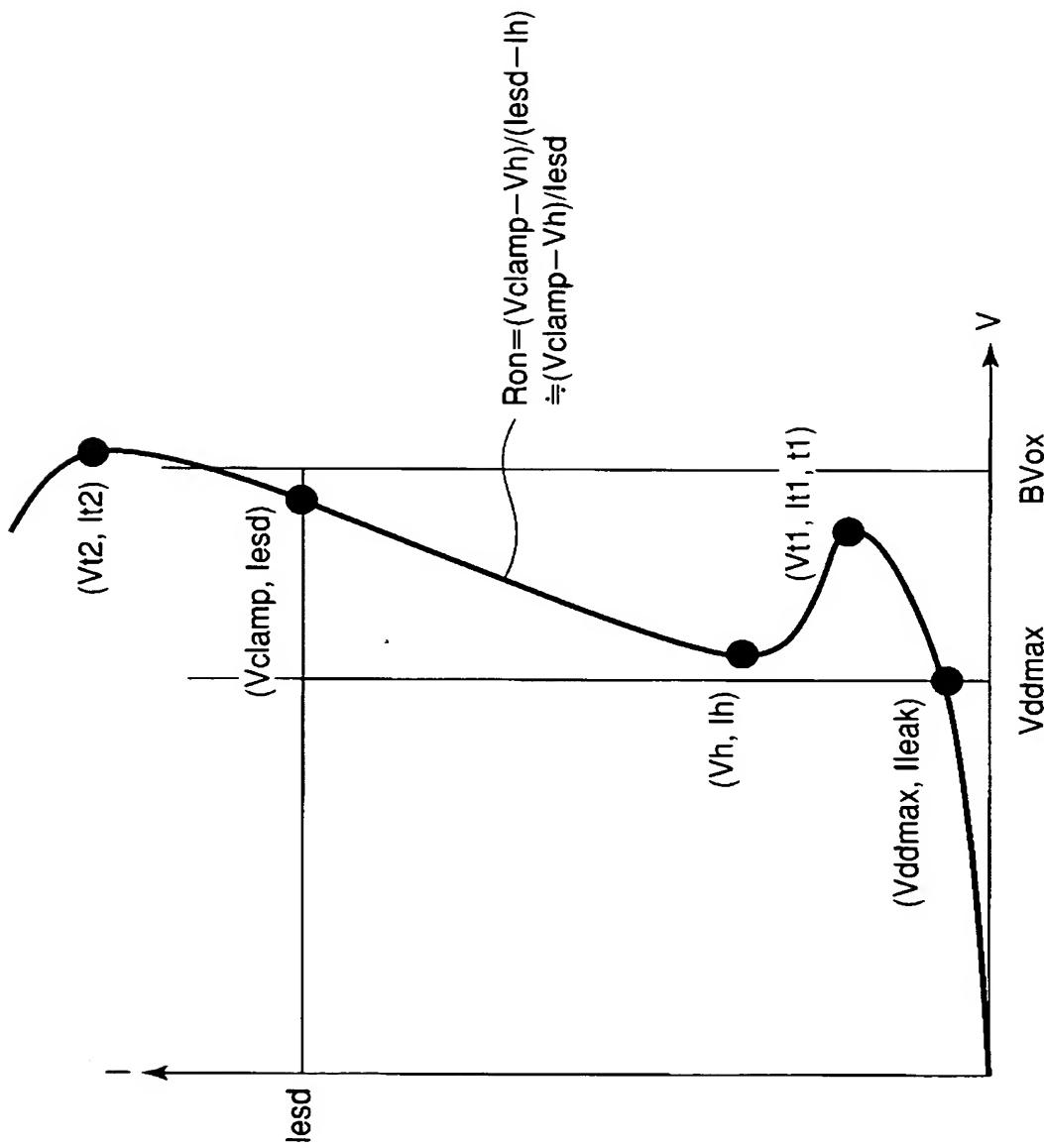
【図10】



【図 11】



【図 12】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】本発明は、E S D保護回路を備えた集積回路装置において、サイリスタの設計上の制約を緩和でき、E S D保護回路の集積回路装置に占める面積を削減できるようにすることを最も主要な特徴としている。

【解決手段】たとえば、電源P A D 1 1からの電源電圧に変化のない状態では、C R 積分回路3 1の中間ノードが、抵抗素子3 1 aの働きによってV d d電位になる。これにより、PMOSトランジスタ3 3 dがオフ状態となる。その結果、通常動作時には、スナップバックを起こすためのフィードバックループが遮断され、常に、サイリスタ部3 3 Aはカットオフした状態となるように構成されている。

【選択図】 図1

特願 2003-378630

出願人履歴情報

識別番号 [000003078]

1. 変更年月日 2001年 7月 2日

[変更理由] 住所変更

住 所 東京都港区芝浦一丁目1番1号

氏 名 株式会社東芝